

Anlage iq zum Kundl. N. 42 auf Brüssel  
vom 7ten März 1895

4507774

VI. INTERNATIONALER BINNENSCHIFFFAHRTS-CONGRESS

HAAG, 1894.

7. FRAGE.

25

FLUSSREGULIRUNG

BEI

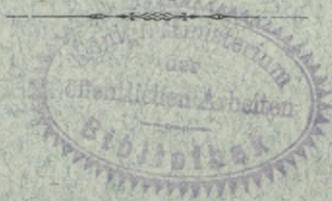
niedrigem Wasserstande

VON

H. GIRARDON,

Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées chargé du service spécial du Rhône.

F. Nr. 19875



HAAG,

Druck von GEBR. BELINFANTE, A. D. SCHINKEL, Nachf.

PAVELJOENSGRACHT, 19.

1894.



II - 354141

354141

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000316739

# Sechster internationaler Binnenschiffahrts- Congress.

Im HAAG. — 1894.

---

## Flussregulirung bei niedrigem Wasserstande,

VON

**H. GIRARDON,**

Ingenieur en chef des Ponts et Chaussées, chargé du Service spécial du Rhône.

I.

### ALLGEMEINE BEMERKUNGEN ÜBER DEN ZUSTAND DES MATERIALIEN- UND WASSERABFLUSSES AUF BEWEGLICHEM FLUSSBODEN.

---

Die meisten Flüsse mit beweglichem Boden laufen in den Thälern, wo der Boden aus früheren und dichten Anschwemmungen besteht.

Die Flüsse im Naturstand streifen in dem ganzen Raume des Ueberschwemmungsgebietes herum, und verschieben ihr Hauptbett von einem nach dem andern Ufer des Thales.

Jedes wichtige Hochwasser führt neue Materialien, die aus den Nebenflüssen herkommen, und auch noch mitgerissene Materialien aus dem Bett oder von den Ufern des Hauptflusses mit sich, welche es bedeutend umgestaltet. Wenn das Wasser fällt, so entdeckt sich das Gebiet und zertheilt sich durch mehrere Arme, zwischen denen der Ablauf sich vertheilt und unermessliche Kies- und Sandmassen unter einander liegen lässt. Im allgemeinen sind diese Erdarten ungeeignet für irgend einen Ackerbau; wenn sie etliche Jahre da liegen, so bedecken sie sich mit Gestrüppe und manchmal mit Bäumen; ihre Gestalt aber ist immer veränderlich. Die nachherigen Hochwasserfluthen mögen sie bisweilen erweitern, oftmals zerstören diese solche Anschwemmungen um sie anderswo wieder zu bilden.

Der von diesen Verschiebungen ausgefüllte Raum kann in den grossen Strömen sehr bedeutend sein; sie entwickeln sich bis zum Fusse der Gebirge über die ganze Weite des Hochwasserbettes und bedecken oft eine mehrere Kilometer breite Gegend.

Andererseits verengt sich zuweilen das Flussbett; die Berge, welche das Thal umschliessen nähern sich einander, und der Fluss läuft in einer schmalen und tiefen Kehle ab. Beispiele dafür sind der merkwürdige Donauhohlweg zu Kazan, so auch, mit geringeren Verhältnissen, die Rhônekehlen zu Pierre-Chatel und St. Alban.

Manchmal, wenn schon die Ufer sich mässiger annähern, ist das Thal, sehr nahe bei dem Wasserspiegel, mit Felsen durchsetzt, welche vielfach zu Tage treten und heftige Strömungen, wie die des „Struden“ oder die am „Eisernen Thor“ auf der Donau und die „Chutes du Sault“ auf der Rhône hervorbringen.

Diese Stellen zwischen verengten Berggruppen oder auf Felsensohlen begründen nicht nur feste Punkte für den Stromgrundriss, sondern auch besondere Punkte des Längenschnittes. In den schmalen und tiefen Kehlen, wo häufig das Gefälle bei Hochwasser sehr heftig ist, vermindert sich dasselbe und wird bei niedrigem Wasserstande oft fast unmerkbar so dass der Längenschnitt der niedrigen Wasser durch einen Absatz oder Halbabsatz, mit vorhergehenden und nachfolgenden starken Gefällen, zertheilt ist.

Die Fälle bringen ähnliche Wirkungen hervor: bei niedrigem Wasserstande erkennt man auf der Schwelle einen barschen Absturz, mit sanft geneigtem Gefälle in der vorhergehenden Haltung, und auf beiden Seiten die normalen Stromgefälle.

Diese Längenschnittgestalt ist indessen nicht unveränderlich; wenn wohl in solchen Stellen der Fluss auf dichtem nicht abschwembarem Boden abläuft, so erzeugt doch das Wasser eine Wirkung auf die Stromsohle. Ein Theil seiner lebendigen Kraft verschwindet in einer Reibungsthätigkeit, die die Felsen, über welche das Wasser fliesst, glättet und nach und nach abstumpft; und wenn keine Wasserfluth seinen Lauf ablenkt, wenn ihre Wirkung während einer langen Reihe von Jahrhunderten fort dauert, höhlt das Wasser die Felsen aus und öffnet sich einen Durchgang. Derart ist der Ursprung, gewiss nicht von allen Kehlen, sondern doch wenigstens von einer gewissen Zahl derselben. Wenn man nur mit Zeitauern der Regulierungsarbeiten vergleichbare Zeiträume betrachtet, so werden die Veränderungen, welche diese Stellen dann erleiden können, unbedeutend. Und da andererseits die auszuführenden Arbeiten nicht, ohne die Schranken der möglichen Ausgaben zu übersteigen, eine bedeutendere Wirkung üben könnten, als eine örtliche Verbesserung, und keine grosse Wirkung haben über den Punkt hinaus wo sie unternommen sind, so soll man in Betracht ziehen, dass diese Stellen ganz bestimmte Punkte im Grundrisse und im Längenschnitt erzeugen, welche oft eine sehr klare Abmarkung zwischen den Flussverfassungen, welche sie trennen, begründen.

Also wird hier die oft für den Längenschnitt eines Wasserlaufes formulirte Vorstellung nicht möglich, wonach derselbe durch eine Reihe von stufenweise abnehmenden Fällen gestaltet wäre; wir werden weiter

sehen, dass diese Vorstellung sich nicht besser in den Zwischenräumen dieser Stellen bestätigt. Damit ein Hinderniss den Fluss anhält in der Auskolkungsthätigkeit der Stromsohle, eine Sperre bildet und das Gefälle stromaufwärts vermindert, um dasselbe stromab zu vermehren, ist es nicht nothwendig, dass dieses Hinderniss einen so heftigen Widerstand wie eine Felsengruppe bietet; es reicht hin, dass die nöthige Abräumethätigkeit um dieses Hinderniss aufzuheben, diejenige der verschiebenden Wasserkraft überschreitet. Dieser Umstand trifft sich oft an und strebt, mit anderen Gründen danach, dem Längenschnitt eine Gestalt zu geben, welche weniger einfach ist, als die parabolische Form; und man findet diese annäherungsweise ausgeführte Gestalt nur auf den Flüssen, welche keine oder unbedeutende Nebenflüsse haben, und auf den anderen Wassern nur von dem Punkt an, wo sie keine wichtigen Nebenflüsse mehr empfangen.

Zwischen diesen Bergabwechselungen, welche sich nur mit grossen Zwischenräumen eintreffen, erweitern sich oftmals auf mehrere hundert Kilometer die angeschwemmten Ebenen, welche wir beschrieben haben und in denjenigen, im Gegentheil, alles veränderlich und immer beweglich ist.

Die Gestalt und die Lage der Stromsohle sind da in jedem Punkt und in jeder Zeit, vom Bodenwesen und vom Gefälle, vom Wasser-Abflaufe und seinen Veränderungen abhängig, Umstände, welche sich unter dem Einfluss der dem Wasserlaufe eigenthümlichen Gründe verändern, und welche ausserdem durch die Begegnung der Nebenflüsse, welche nach und nach den Fluss vermehren, verändert sind.

Jeder dieser Nebenflüsse hat besondere Verfassung und demzufolge eine verschiedene Wirkung; und der Strom, welchen den Kraftergebnissen dieser Thätigkeit ausstehen muss, wird verschiedentlich verändert, nachdem diese Wirkungen zusammen oder besonders sich erzeugen.

Einige dieser Nebenflüsse sind selbst bedeutende Flüsse, welche dem Hauptstrom einen bemerkenswerthen Theil seines Abflusses liefern; aber wie gross auch ihre Wichtigkeit sei, so ist jedoch die Grösse ihres Antheils an der Wasserlieferung sehr veränderlich.

Einige Nebenflüsse kommen von mittelmässig hohen oder in beziehungsweise warmen Gegenden liegenden Bergen her; ihre Verfassung ist besonders vom Regenfall abhängig; ihr niedriger Wasserstand findet in trockener Zeit, — das heisst im allgemeinen im Sommer, — statt.

Hingegen steigen andere Nebenflüsse von Gebieten herab, welche von hohen Eisbergen und ewigen Schneegipfeln beherrscht sind; ihre Verfassung hängt besonders in diesem Falle von dem Wärmestande ab, welcher das Schnee- oder Eisschmelzen fördert oder vermindert; ihr niedriger Wasserstand fällt im Winter und ihre mittleren Wasser im Sommer.

Die Nebenflüsse, deren Gebiete beholzt oder mit Rasen belegt sind und welche in Thälern mit schwachem Gefälle ablaufen, haben eine ruhige

und regelmässige Verfassung; ihr Abfluss sogar in trockener Zeit behält immer einen beziehungsweise bedeutenden Werth; ihr Hochwasser bildet sich langsam und dauert eine lange Zeit; die Verschiedenheit zwischen ihren höchsten Abflüssen ist gering.

Diejenigen im Gegentheil, deren Gebiete entblösst und deren Fälle rauh sind, haben eine reissende Verfassung; ihr Abfluss in niedrigem Wasserstande wird fast gleich Null; ihren Hochwasser sind plötzlich und schnell; die Verschiedenheit zwischen ihren höchsten Abflüssen ist sehr bedeutend; sie ergiessen barsch ausserordentliche Wassermengen, welche in kurzer Zeit und manchmal in einigen Stunden abfliessen und derweise gleich nach einem schwachen Abfluss niederfallen.

Zwischen diesen beiden Beispielen zeigen sich alle Zwischenarten, und unter denjenigen, welche von beiden Verfassungen abhängen, sind Nebenflüsse, deren oberer Lauf aus den hohen Bergen stammt und mit starkem Gefälle abfliesst, während ihr Unterlauf sich auf lange Ebenen ausdehnt; ihre Hochwasser bewahren den raschen Gang der Stromschnellen; aber ihr Abfluss bleibt doch bedeutend bei niedrigem Wasserstande.

Wenn die verschiedenen Nebenflüsse sehr hervortretende Verschiedenheiten hinsichtlich ihrer Wasserverfassung vorstellen, so zeigen sie ebenso grosse Verschiedenheiten in Hinsicht auf die Art, die Ausdehnung und die Menge der Materialien, welche sie fortschaffen.

Alle Flüsse, einige Quellen ausgenommen, welche auf einem widerstandsfähigen Boden mit schwachem Gefälle ablaufen, haben einen doppelten Abfluss: den Wasserabfluss und das Materialentreiben. Beide Abflüsse, welche sich von einem zum andern Wasser, und auf demselben Wasser nach den Wasserumständen in sehr verschiedenen Verhältnissen zeigen, sind durch Geetze geregelt, welche wir sehr wenig kennen, oder, besser gesagt, welche wir gar nicht kennen und während längerer Zeit uns wahrscheinlich unbekannt bleiben werden.

Jedoch wissen wir, dass diese Abflüsse von einander abhängig sind; die einfache Beobachtung zeigt uns, dass die Menge oder die Masse der verschiebenden Materialien bei übrigens gleichen Umständen mit der bewegendem Wassermenge sich vermehrt; die Bemerkung zeigt uns auch noch, dass die verschiebenden Materialien entsprechend mit dem Gefälle sich erhöhen. Die Menge der Materialien ist nicht nur von diesen beiden Sachen, welche die hinreissende Gewalt bilden, abhängig, sondern auch noch vom Widerstand gegen diese Gewalt, von der Art des mehr oder weniger leicht ausspülbaren Bodens, auf welchem der Fluss abläuft, und von dem Anbauen, den Beholzungen oder den Rasenbekleidungen der Flussböschungen, alles Umstände, welche die Bettbeschädigungen und die Grösse der lebendigen Wasserkraft beeinflussen.

Die Flüsse mit ruhiger Verfassung, welche mit schwachem Gefälle abfliessen und deren Obergebiet mit Holz und Rasen belegt ist, führen im

allgemeinen viel Wasser und wenig Materialien ab; jedoch bringen sie während des Hochwassers kleine Materialien mit, d. h. feinen Sand und beweglichen Thon.

Andererseits reissen die Flüsse mit reissender Verfassung eine grosse Menge von Materialien fort. Im oberen Flussgebiet verschieben sie ausserordentliche Klötze, welche kaum abgestumpft sind.

Diese Klötze legen sich am Fusse der grossen Gefälle nieder, ohne jedoch eine entschiedene und feste Lage dort zu erwerben; aber von diesem Punkt an verwirklicht sich ihr Fortschreiten nur langsam und durch ununterbrochenes Verschieben, es sei dass die Klötze zuerst fortschreitend in einer allgemeinen hinabsteigenden Bewegung der Schwemmstoffe oder durch eine Umwälzung der Stromsohle, bei welcher sie zerbrechen, hingerissen werden. Je nachdem man sich dem Ursprung des Wasserlaufes entfernt, vermindern sich die Gefälle, und die Materialmenge verkleinert sich auch, indem allein die leichtesten Materialien so weit fortgezogen werden oder, weil die anderen Materialien sich während ihres Laufes zerbrochen oder abgestumpft haben.

Diese Phänomene sind besonders auf den eigentlichen reissenden Gewässern merklich, weil die Stärke der Gefälle und der übermässige Wechsel der Abflüsse wie eine Vergrösserung des Massstabes wirken, welche die Phänomene besser zu begreifen erlaubt. Die allgemeine Gestalt dieser Wasser kann man sich wie zwei entgegengesetzte Kegel vorstellen: man findet einerseits einen Oberkegel dessen Gipfel gegen das untere Theil gewandt ist, einen unermesslichen Trichter, welcher das Empfangsgebiet ausmacht und welcher sich mit der Zeit beschädigt und ausweitet; und andererseits einen Unterkegel, dessen Gipfel gegen den oberen Theil gewandt ist und welcher durch von dem ersten weggerissene Trümmer aller Art gestaltet ist, Trümmer, welche sich nach allen freien Richtungen ausdehnen, und desto weiter, je kleiner sie sind und je schwächer ihre natürliche Böschung ist. Beide Kegel sind durch einen mehr oder weniger langen und fallenden Gang verbunden, welcher das Strombett bildet. Wenn eine Zerstörung vorkommt, so setzen die in dem Gang hinabsteigenden Trümmer ihren Sturz auf die durch die vorgehenden Trümmer gestalteten Neigungen fort, durch welche das Strombett sich verlängert und verschiebt, abhängig von den begegneten Widerständen; der Kegel erhöht sich nach und nach, indem er sich verlängert, bis er den Hauptfluss erreicht, welcher den Strom empfängt und in welchen zugleich mit dem Wasser, auch die verschiebenden Materialien fallen.

Die ruhigen Flüsse, deren Gang so verschieden scheint, sind ebenso der Schauplatz ähnlicher Phänomene, welche sich mehr oder weniger mit denselben allgemeinen Eigenthümlichkeiten aller Flüsse vorzeigen.

Alle Flüsse reissen Materialien aus ihrem Gebiet mit; sie vermischen dieselben mit denjenigen, welche die Nebenflüsse mitführen,

sie schleppen dieselben in grösserem Ueberfluss bei Hochwasser und lagern einen Theil derselben ab, wenn das Wasser niederfällt, um sie später wieder zu ergreifen und sie nach und nach bis zum Punkt, wo die Gefälle sich vermindern, zu führen; diese Materialien breiten sich dort in einer mehr oder weniger abgeplatteten Kegelgestalt aus, sie schieben sich fortwährend vorwärts und erreichen das tiefere Wasser, welches sie seinerseits mitschleppt, bis sie endlich zufolge ähnlicher Wandlungen in das Meer zurecht kommen, in welches der Ausleerungskegel mehr oder weniger hineinreicht und seine Gestalt mehr oder weniger behält, je nachdem die Wirkung der Fluth, der Strömungen und der Wellen mehr oder weniger kräftig ist.

In dieser unablässigen Arbeit der Ebenung der Erdoberfläche, welche durch die Flüsse unternommen wird, laufen die Wasser in einem unveränderlichen Cyclus fortwährend weiter, indem sie vom Gebirge nach dem Meere herabsteigen, wo sie verdampfen, um von dem Meere durch die Winde fortgezogen, nach dem Gebirge zurückzukehren. Aber wenn im Grossen und Ganzen die Wasserbewegung eine zusammenhängende Eigenthümlichkeit darbietet, so erscheint ihr Niederfall auf die Bodenfläche, im Gegentheil, als intermittirend oder, besser gesagt, als periodisch, und ergiebt eine ähnliche Eigenthümlichkeit der Materialienbewegung, welche sie verursacht. Jeder Abfall, das heisst jedes Hochwasser bricht vom Gebirge neue Stücke los, er hebt bei seinem Durchgehen alle schon in seinem Bett versammelten Materialien, und schleppt sie fort, so weit die Menge des bewegenden Wassers in genügende Kraft bewahrt; er legt die Materialien ab, wenn er sie nicht mehr tragen kann, um andere weniger schwere Materialien mitzunehmen und zuletzt die leichtesten, welche schon durch früheres Fortschaffen näher gekommen waren, in das Meer zu führen.

So erfolgt die Absteigung der Materialien vom Gebirge zum Meere einigermaßen wie die Ausbreitung einer grossen Fluth, welche das fließende Wasser bei seinem Durchgang aufhebt, welche sich senkt, wenn das Wasser niederfällt und deren Länge und Weite sich in jedem Punkt ändern nach Verhältniss der immer veränderlichen Umstände, die sich im Augenblicke seines Durchganges erzeugen.

Uebrigens ist es klar, dass dieser Gang um so bemerklicher ist, je bedeutender die periodische Eigenthümlichkeit der Wasserbewegung selbst sein wird, je grösser die Verschiedenheit zwischen dem Maximum und Minimum des Abflusses sein wird, je steiler und entblösster die Gefälle sein werden, und auch je schneller der Ablauf sein wird.

Dort dagegen, wo die Wasserläufe nur der Regenverfassung unterworfen sind, wo diese Regenverfassung selbst regelmässiger ist, wo die Boden durchdringlicher werden und sie die Regenwässer länger und in grösserer Menge behalten, um sie nach und nach abfliessen zu lassen, dort endlich, wo die Gefälle schwach und der Ablauf ruhig und regelmässig ist, da wird die Welle sich erweitern und abplatteln, aber niemals wird sie ver-

schwinden, und die Materialienbewegung wird immer intermittirend sein und von einer Reihe auf einander folgenden Beförderungen und Pausen gebildet werden.

Dieses ist eine unvermeidliche Folgerung der Periodicität der Wasserbewegung und der Veränderlichkeit des Abflusses. Ihre hinreissende Gewalt wirkt auf die Materialienverschiebung nur von gewisser Grösse an, welche man wirksam heissen könnte, und wenn durch die Verminderung des Abflusses sie unter diese Grösse absteigt, so bleiben die wandernden Geschiebe stehen, und es bildet sich eine Ablagerung. Das ist ein Naturgesetz, welches man nicht abändern kann, und der Ingenieur, welcher Regulirungsarbeiten beabsichtigt, muss verzichten an Stelle dieser intermittirenden Bewegung eine ununterbrochene Bewegung zu setzen und soll sich darauf beschränken, die Lagebestimmung der Ruheplätze vorauszusehen und die Form der Ablagerungen so gut als möglich zu bestimmen.

Aber das ist nicht die einzige Thatsache, welche die Beobachtung zu bestätigen erlaubt. Es ist möglich, andere Sachen zu bezeichnen, welche ebenso gewiss sind, andere ebenso nothwendigen Folgerungen zu notiren, die aus den gegenseitigen Rückwirkungen dieser Wasserbewegungen und Materialienverschiebungen herkommen, indem man die Wirkung dieser immer veränderlichen hinreissenden Gewalt auf Boden, dessen Widerstand gleich veränderlich ist, genau betrachtet.

Weiter oben haben wir gesagt, dass die hinreissende Gewalt sich mit der bewegenden Wassermenge und mit dem Gefälle vergrössert. In einem anziehenden Bericht, in den „Annales des Ponts et Chaussées (1879 II. Band)“, beweist Herr du Boys, dass diese Gewalt im Verhältnisse zu dieser Menge und diesem Gefälle steht, so dass die, auf einen Quadratmeter Stromsohle durch ein Prisma mit gleicher Grundfläche und der Wassertiefe  $H$  in diesem Punkt entsprechender Höhe, wirkende hinreissende Gewalt, wenn das Gefälle  $= i$  ist, einen Werth hat:

$$F = 1000 H i.$$

Dieser Ausdruck, ausserhalb jeder Theorie über das Wasserabfliessen und jeder Hypothese über die Vertheilung der Schnelligkeiten festgestellt, vermuthet nur, dass in der einförmigen Bewegung die merkliche lebendige Kraft der Wassermenge sich immer gleich bleibt; wir nehmen ihn für unsere folgenden Erklärungen an, weil die einzige Hypothese, auf welche er begründet ist, nur schwerlich bestreitbar zu sein scheint.

Uebrigens nehmen wir zu diesem Ausdrucke die Zuflucht nur, weil er die Frage vereinfacht, aber wir haben nicht die Absicht, so verwickelte Phänomene als diejenigen, die wir ergründen, einer Berechnung zu unterwerfen, und wir wollen das Mass der Wirkungen nicht in Zahlen festsetzen; wir suchen nur den Sinn derselben zu bestimmen, so dass unsere Folgerungen richtig bleiben, wenn sogar das Gesetz, welches die

hinreissende Gewalt mit der Menge und dem Gefälle verbindet, von der einfachen Proportionalität abweiche, weil es sicher ist, dass die Veränderungen dieser Kraft von derjenigen der Menge und des Gefälles abhängig und in gleicher Richtung wie dieselben sind.

Wenn es leicht ist, die auf die Veränderung eines Flussbettes wirkende Kraft zu begreifen, und sie sogar sehr einfach auszudrücken, das ist nicht der Fall, was die entgegengesetzten Widerstände betrifft.

Diese Widerstände sind äusserst veränderlich; man kann sie nicht in einen einfachen Ausdruck zusammenfassen, aber man kann wenigstens eine gewisse Zahl der auf ihre Grösse wirkenden Ursachen erkennen; hier zeigen wir nur die hauptsächlichsten.

In erster Linie muss man die Ausdehnung, die Dichtigkeit und das Gewicht der Materialien nennen. Der Einfluss dieser Ursachen ist klar; die flüchtigste Beobachtung und der gesunde Verstand genügen, um verstehen zu lassen, dass die dünnsten und weniger schweren Materialien am leichtesten fortgeführt werden. Dennoch muss man bemerken, dass die Materialien, welche ein Flussbett bilden, nicht alle ähnlich sind; im Gegentheil sie sind sehr unterschieden in ihrer Grösse, ihrer Art und ihrer Gestalt, und sie sind in sehr veränderlichen Verhältnissen gemischt. Die mehr oder weniger innigen Zustände dieser Mischung beeinflussen ihren einzelnen Widerstand gegen die Fortreissung und verändern diesen. Man findet feine Sand- und Kiesmischungen einfach angesetzt und durchaus beweglich, man findet auch mehr widerstandsfähige thonartige Sand- und Kiesmischungen, Schlamm- und Felsen-Anhäufungen und endlich Gruppen, die so dicht aneinander gebacken sind, wie Puddinge und welche der Fortreissung einen Widerstand fast wie Felsengruppen anbieten.

Die Gestalt der Materialien beeinflusst ihren Widerstand gegen die Fortreissung; es ist klar, dass die runden Steine leichter in Bewegung gebracht werden, als die eckigen Steine oder die flachen Kiesel. Die von dem Gebirge absteigenden Felsentrümmer verlieren schnell ihre eckigen Gestalten; sie stumpfen sich bei ihren nachfolgenden Beförderungen ab und nehmen verschiedene Gestalten an, es sei, weil alle ihre Seiten nichtgleich der Abnutzung unterworfen sind, oder es sei, weil ihre Härte nicht in allen Richtungen die nämliche ist. Es geht daraus hervor, dass man allen Grössen und Gestalten begegnet, von den genau kugelförmigen Kieseln bis zu den ganz flachen Steinen.

Die Art, in welcher diese Steine zusammengescharrt sind und sich in einander verwickeln, beeinflusst augenscheinlich ihren Widerstand gegen die Fortreissung; aber dieser Widerstand ist ausserdem für jeden Stein von seiner Richtung abhängig. Ein flacher Kiesel, der auf seiner kleinen Seite liegt, wird leichter fortgezogen, als wenn er platt liegt, und es ist offenbar, dass, wenn er einmal in Bewegung gesetzt ist und wenn er anhält oder fällt, es auf seiner grossen Seite sein wird, wenn sich dem nichts

entgegen stellt. So dass, wenn in einer Strömung, welche eine Kieselmenge mit sich fortzieht, deren grosse Zahl immer mehr oder weniger abgeplattete Gestalten hat, die hinreissende Gewalt sich vermindert, so lagern sich die Kiesel platt ab, nach und nach und auf einander gelegt; und wenn nach einem Hochwasser man ein neuerlich gestaltetes Ufer nach der Gestalt, welche die Wasserwirkung ihm gegeben hat, betrachtet, so findet man, dass die Steine dachziegelförmig auf einander gelagert sind, ganz wie Fischschuppen. Ein so gebildetes Ufer, wenn auch aus beweglichen Materialien bestehend, wird der Fortreissung einen beträchtlichen Widerstand für jede in der Steinrichtung geführte Strömung bieten. Dieser Widerstand wäre fast Null für eine Strömung, welche die Bank in umgekehrter Richtung fassen würde; der Widerstand wird schwach für eine Strömung sein, welche die Bank quer fassen wird. Und so kann man sich den oft sehr langen Bestand von Bänken erklären, welche in sich selbst wenig fest und voller Strömung ausgesetzt sind; und auch ihr plötzliches Verschwinden unter dem Einfluss eines Hochwassers, das schwächer ist als andere, denen sie Widerstand geleistet haben, aber in welchem auch die Strömungsrichtung verändert wurde.

Die hinreissende Strömungsgewalt wirkt also auf eine aus sehr ungleichartigen Elementen und veränderlichen Widerständen gebildete Flusssohle. Man begreift, dass so lange diese Kraft schwach ist, sie nur auf schwach widerstehende Materialien wirkt, und dass, nachdem dieselbe vergrössert ist, sie immer mehr widerstehende Materialien in Bewegung setzt.

Es sind also zuerst die dünnsten und leichtesten Materialien, welche sich in Bewegung setzen werden, dann nach und nach, je nach dem Materialienwiderstande, kommen immer grössere und schwerere Steine. Umgekehrt, wenn die hinreissende Gewalt vermindert wird, so werden die Materialien sich nach einander ablagern, die grössten und die schwersten werden zuerst liegen bleiben und so weiter, bis zu den dünnsten und leichtesten. Die Beobachtungen bestätigen ganz und gar diese Anzeigen. Wenn man einen Fluss, wo der niedrige Wasserstand schon lange Zeit dauert, betrachtet, so findet man, dass meistens sein Wasser klar ist. Wenn sein Bett nur ziemlich grosse Materialien enthält, so verwirklicht sich keine Stoff-Beförderung; aber wenn es feinen und dichten Sand enthält, so ist manchmal die Klarheit des Wassers mit einer gewissen Sohlebewegung vereinbar, und sie erlaubt oft, die Sandkörner, welche eins über das andere hinabrollen, zu erblicken. Je nachdem der Abfluss vermehrt, dass heisst was die Tiefe und die Menge betrifft, so vermehrt und beschleunigt sich die Sohlenbewegung; Stösse erzeugen sich, kleine Wirbel bilden sich, und die Stoffe werden nicht nur vorwärts gerollt, sondern auch aufgehoben und mit der Wassermenge gemischt. Diese wird zuerst unrein, darauf trübe, und dann schmutzig, wie wenn man ein Gefäss heftig geschüttelt hätte, welches klares Wasser auf einem Bodensatz enthielt.

Da der Abfluss und mit ihm die hinreissende Gewalt immer vermehren, werden immer grössere Materialien in Bewegung gesetzt, und wenn man dann ohne Ruder und ohne Geräusch den Fluss in einem Nachen hinabfährt, so ist es leicht, ein unablässiges Knistern zu hören, mit längeren und kürzeren Geräuschen gemischt, welche genau an das Geräusch der auf Böschungen rollenden aufeinanderstossenden, und sehr oft weit durch den Stoss weggeworfenen Kiesel erinnern. Ganz ähnliche Bewegungen erzeugen sich gewiss bei der Hinreissung der Kiesel eines Flusses, und es ist nicht selten möglich, nach einem grossen Hochwasser Kiesel so gross wie die Faust bisweilen wie der Kopf zu finden, welche aus dem Bett mitgeführt und über Deiche von drei und vier Meter Höhe über dem niedrigsten Wasserstand geworfen worden sind. Diese Bewegung und dieses Geräusch betonen sich je nachdem der Abfluss vermehrt, da die Grösse und Menge der hingerissenen Materialien zu gleicher Zeit sich vermehrt; und im Augenblick des Hochwassermaximums der grossen Flüsse erzeugt sich ein Geräusch, welches demjenigen eines ununterbrochenen Einsturzes ähnlich und dem Meeresrauschen, abgesehen von der Abwechslung, zu vergleichen ist.

Dann, wenn das Wasser niederfällt, erzeugen sich in umgekehrter Ordnung die ähnlichen Phänomene wieder: die grossen Materialien setzen sich zuerst ab, dann nach und nach die anderen, die leichten Stoffe bleiben allein in Bewegung, das Wasser hört auf schmutzig zu sein, es wird wieder trüb und endlich ganz klar.

Jedem dauernden Wasserstande entspricht also eine hinreissende Gewalt von einer Thatkraft, welche durch die Abnutzung und die Materialienverschiebung verbraucht werden soll. Wenn einmal die entsprechende Materialienmenge in Bewegung ist, so ist die Strömung unfähig, noch mehr fortzuschieben und ist sie also, wie man es sehr richtig sagt, gesättigt. Wenn die bewegende Wassermenge oder das Gefälle sich verändert, so ergibt sich eine neue Sättigungsfähigkeit, und die Strömung lagert eine neue Materialienmenge ab oder hebt sie auf.

Diese unablässigen Verschiedenheiten der hinreissenden Gewalt oder der Sättigungsfähigkeit des Wassers einerseits, und des Widerstandes der Stromsohle andererseits, müssen eine beständige Abänderung der Gestalt des Flussbettes erzeugen, und dieses erklärt die Abweichungslage, in welcher die meisten Wasser sich im Naturstand befinden.

Wenn diese Verschiedenheiten wichtig und häufig sind, so wird die Flussbettgestalt äusserst unbeständig und immer veränderlich sein. Jeder Umstand aber, welcher so wirken wird, dass er die Veränderungen von einer oder der anderen dieser Kräfte vermindert, oder dass er derselben kreislaufend dieselbe Werthe giebt, wird Abänderungen der Gestalt des Flussbettes beschränken oder sich ähnliche Abänderungen periodisch zurückführen. Und da man in der Verschiedenheit der Phänomene, welche sich auf den Flüssen erzeugen, diejenige Thatsachen,

welche sich wiederholen von denjenigen Wirkungen, welche sich immer in der nämlichen Richtung ergeben, unterscheiden kann, und es auch andererseits Punkte giebt, wo der Widerstand unveränderlich bleibt, sei es natürlich, sei es durch die Arbeitenwirkung, so ist es nicht unmöglich, eine gewisse Zahl beständiger Zustände zu bestimmen, welchen der Grundriss und der Längenschnitt eines Flusses entsprechen müssen.

Zuerst ist es klar, dass wenn die Hochwasser nur eine Vermehrung der Wassermenge mitbringen sollten, eine Betauskolkung, eine allmähliche Vertiefung und eine fortschreitende Verminderung des Gefälles erfolgen würden, bis dieses so weit verkleinert wäre, dass jede Hinreissung verschwand.

Aber so ist es nicht: die Hochwasser rollen Materialien mit sich, welche aus dem Hauptgebiet und aus dem Gebiet seiner Nebenflüsse herkommen.

Damit das Flussbett am wenigsten sich in seiner allgemeinen Lage festhält, ohne Auskolkung und ohne Erhebung, muss mit jedem Hochwasser die herabkommende Materialienmenge mit der fortgeschleppten übereinstimmen. Es ist a priori augenscheinlich, dass diese Gleichheit sich nicht bei jedem Hochwasser erzeugt, dass die eine Fluth viele und die andere wenige Materialien mitbringt, und dass ein gewisser mittlerer Bestand nur aus ihrer Abwechselung hervorgehen kann.

Aber die Nebenflüsse, welche ein Fluss aufnimmt, haben nicht alle die nämliche Verfassung; sie werden also jeder verschiedenartig auf die Zustände des Hauptstromes, auf seine Gestalt und seinen Längenschnitt wirken.

Wenn ein Nebenfluss sich in einen Strom wirft, so kommt sein Wasser in einen Sättigungszustand, welcher seiner Menge und seinem Gefälle entspricht. Es begegnet ein Wasser, mit welchem es sich vermischen wird und welches selbst den Sättigungspunkt erreicht, der seiner Menge und seinem Gefälle entspricht. Das Wasser und die Stoffe der beiden Flüsse vermischen sich. Wenn die neue Stoffmenge richtig dem Sättigungszustand der neuen Wassermenge entspricht, in Berücksichtigung der Gefällzustände ihres Abflusses, so wird nichts in der Materialienbewegung verändert; diese Materialien werden damit fortfahren abzufliessen, wie wenn sie gar nicht vermischt wären.

Aber man versteht, dass ein solcher Zustand sich nicht in der Praxis verwirklicht, und dass die hervorgehende Stoffmenge der Nebenflusszufuhr mit derjenigen des Hauptflusses zusammengefügt, niemals derjenigen, welche dem Sättigungszustand der neuen Wassermenge entspricht, genau gleichsein wird; sie wird höher oder geringer sein.

In dem ersten Falle wird sich ein Theil ablagern, welches die Flusssole erhöhen und das Gefäll stromabwärts der Niederlagen vermehren wird, bis die hinreissende Gewalt hinreichend ist um alle Einlagen mitzuschleppen.

In dem zweiten Falle wird das Wasser sich auf Kosten des Hauptbettes sättigen; es wird sich austiefen und das Gefälle stromabwärts des Nebenflusses wird vermindern, bis die hinreissende Gewalt auf die Höhe der Thätigkeit der fortzuziehenden Stoffe fällt.

Jedoch, unter den Nebenflüssen, welche ein Strom aufnimmt, giebt es einigen, deren Verfassung ruhiger ist, als diejenige des Hauptflusses, anderen im Gegentheil deren Verfassung reissender ist.

Die ersten führen mehr Wasser als Stoffe herbei; nach ihrer Vereinigung, werden die Wasser in dem Hauptfluss unter ihrem Sättigungspunkt sein; sein Bett wird sich auskolken, und der Zusammensturz wird von schwächeren als den vorhergehenden Gefällen gefolgt.

Die anderen, im Gegentheil, werden viele Materialien und wenig Wasser herbeiführen; nach ihrer Vereinigung werden die zusammengesetzten Wasser unvernünftig die Totalität der Stoffe fortzuziehen; sie werden einen Theil ablageren, das Bett des Hauptflusses wird sich erhöhen und der Zusammensturz wird von stärkeren, als den vorhergehenden Gefällen gefolgt.

Jeder Nebenfluss, in Folge der Verschiedenheit zwischen seiner Verfassung und derjenigen des Hauptflusses, verursacht also eine Biegung in dem allgemeinen Gefälle des Flusses. Dieses Resultat wird je nach der Wichtigkeit beider Flüsse mehr oder weniger hervortretend sein; wenn aber die Abfuhr des Hauptnebenflusses mit derjenigen des Hauptflusses vergleichbar ist, so wird die Wirkung bedeutend sein, und die Veränderungen, welche sich mit der Zeit erzeugen, werden auf die Gestalt des Längenschnitts in einer oft nachdrücklicheren Art, als die vollständig widerstehenden Hindernisse, wie Felsenschwellen, wirken; die Veränderungen werden sich fortsetzen bis eine Gefällevertheilung eintritt und zwar der Art, dass in jedem Punkt die hinreissende Gewalt den Werth erwirbt, welcher der zu liefernden Arbeit in den häufigsten Hochwasserzuständen entspricht. Das Gefälle wird dann befestigt, wenigstens so viel, wie es sein kann; wir wollen hiemit sagen, dass ausgenommen bei den ganz ausserordentlichen Hochwassern, welche tiefe Umstürze verursachen, seine Veränderungen sich auf ein Schwanken in sehr engen Grenzen um seine mittlere Lage beschränken werden.

Die Beobachtung bekräftigt völlig diese Bemerkungen. Die Rhône besonders, zeigt mehrere Beispiele an, welche die Thatsache augenscheinlich darthun. In dem mittleren Theil ihres Laufes nimmt sie drei Nebenflüsse auf, welche ohne so bedeutend als sie selbst zu sein, doch grosse Gewässer sind: die Ain, die Saône und die Isère.

Die Ain hat eine reissende Verfassung, ihr Abfluss bei niedrigem Wasserstande ist sehr schwach und bei Hochwasser sehr bedeutend; sie läuft auf zerreiblichem Grunde und führt eine grosse Materialmenge mit. Sie muss also eine grosse Ablagerung an den Zusammenfluss herbeiführen, und ihr Ausleerungskegel muss das Thal sperren, indem er stromabwärts stärkere Gefälle als oberhalb veranlasst.

In der That von den „Chutes du Sault“ bis zum Zusammenfluss mit der Ain, das heisst oberhalb dieses Zusammenflusses, auf ungefähr dreissig Kilometer, ist das mittlere Gefäll 0,30 m. per Kilometer, während stromabwärts und bis zum Zusammenfluss mit der Saône, auf fünf und dreissig Kilometer, das mittlere Gefäll 0,81 m. per Kilometer ist.

Dagegen hat die Saône eine ruhige Verfassung; sie befördert nur Sand und kleinen Kies und liefert viel Wasser und wenige Materialien; ihre Wirkung muss also umgekehrt sein; sie fördert die Auskolkung der Rhône und die Verminderung ihres Gefälles.

In der That, während oberhalb des Zusammenflusses das Gefälle, wie wir gesehen haben, 0,81 m. per Kilometer ist, beträgt stromabwärts und bis zum Einfluss der Isère, auf einer Strecke von hundert Kilometern das Gefäll nur 0,50 m. per Kilometer.

Die Isère endlich hat, wie die Ain, eine reissendere Stromverfassung als die Rhône; sie muss wie die Ain wirken; sie fördert die Erhöhung des Bettes und die Zunahme der Gefälle stromabwärts. In der That, während zwischen der Saône und der Isère das mittlere Gefälle 0,50 m. per Kilometer ist, erreicht es stromabwärts des Zusammenflusses 0,775 m. und bleibt so auf einer Strecke von 90 Kilometern bis zum Augenblicke, dass die Rhône, durch weniger bedeutende Nebenflüsse vermehrt, eine hinreichende Wassermenge befördert, um ihr Gefälle auf 0,50 m. per Kilometer zurückzubringen.

Alle Nebenflüsse wirken natürlich nicht mit der nämlichen Gewalt auf die Gefällevertheilung; aber alle haben eine beinahe ähnliche Wirkung, welche sich erzeugt durch Einführung neuer Biegungen, die weniger scharf, aber häufiger in den grossen Linien des Längenschnittes die schon durch die Felsenschwellen und die bedeutenden Nebenflüsse hervorgebracht sind, vorkommen.

Und da, wenigstens in der Zeit, welche zu Beobachtungen im Interesse der Regulierungsarbeiten nöthig ist, die allgemeinen Verfassungszustände des Hauptflusses und seiner Nebenflüsse wenig veränderlich sind, so wird der Einfluss jedes Nebenflusses sich immer in derselben Richtung geltend machen und der Gestalt des Längenschnitts und der Ablagerungen eine gewisse Fortdauer geben.

Dennoch ist dieser Einfluss nicht als der alleinige zu betrachten; er ist vorherrschend, wenn es sich um grosse Nebenflüsse handelt, er ist weniger bedeutend, wenn es sich um die kleinen handelt; seine Wirkungen müssen sich mit denjenigen verbinden, welche sich im Hauptbette erzeugen und in seiner Ausdehnung aus der Vertheilung der Widerstände entstehen. Und man begreift sogleich, dass die Gestalt des Längenschnitts und die Lage der Ablagerungen eine Festigkeit erwerben, welche um so grösser ist, je fester die Lage selbst der Widerstände sein wird.

Es ist also von gewisser Wichtigkeit, sich den Einfluss klar zu machen, welchen die Vertheilung und die Art der in dem Flussbett

anwesenden Widerstände auf die allgemeinen Anordnungen seiner Gestalt und seiner Gefälle ausübt.

Wir wollen zuerst die Gestalt des Grundrisses betrachten. Wenn wir ein geradliniges Bett von rechtwinkligem Schnitte voraussetzen, in welchem dass Wasser mit solcher Tiefe und solchem Gefälle läuft, dass die hinreissende Gewalt unzulänglich ist, um die Materialien, welche die Sohle und die Ufer bilden, in Bewegung zu bringen, so setzt sich der Abfluss unbestimmt fort, ohne irgend eine Veränderung der Gestalt weder in dem Grundriss noch in dem Längenschnitt herbeizuführen; so wird es, zum Beispiel, in einem gemauerten Kanale geschehen.

Aber wenn die Stromsohle nicht durchaus widerstehend ist, wenn der Abfluss und die Tiefe vermehren so wird die hinreissende Gewalt den Grundwiderstand überwinden, und die Materialienbeförderung wird anfangen. Damit der Schnitt rechtwinklig und das Bett geradlinig bleibe, wäre es nöthig, dass in jedem Punkt die Schnitte der aufgehobenen Materialien genau dieselbe Dicke hätten, was fordern würde, dass in allen Punkten die hinreissende Gewalt und der Widerstand unveränderlich wären. Es ist augenscheinlich, dass diese Bedingung niemals auf den natürlichen Flüssen erfüllt ist. Im Gegentheil, wird die Wassermenge Materialien von sehr veränderlichem Widerstande vor sich finden, und wird die Strömung sich einen Durchgang öffnen, und sich nach der mindesten Widerstands-Linie feststellen. Es wird sich also ein Thalweg bilden, das heisst eine Linie der grössten Tiefen, auf welcher die hinreissende Gewalt zunehmen wird, während sie auf dem Rest des Schnitts abnimmt; die Auskolkung wird also nachdrücklich fortschreiten, bis sich eine neue Gestalt des Querschnitts erzeugt, in welcher ein Arbeitsgleichgewicht in jedem Punkt existiren wird.

Die Strömung wird also von ihrer ersten, den Ufern gleichlaufenden Richtung abweichen und gegen eines der Ufer geschleudert werden. Wenn dieses Ufer unangreifbar ist, so verbraucht sich die lebendige Kraft in Wasserwirbeln, welche das Bett auskolkten und die Strömung wird auf das entgegengesetzte Ufer zurückgeworfen; sie wird von einem Ufer zum andern gehen, indem sie einen mehr oder weniger krummen Weg verfolgen wird, dessen Gestalt sich zugleich aus der neuen Anfangsrichtung der Wasser und aus der Grundfestigkeit ergeben wird. Wenn das Ufer angreifbar ist, so wird er weggeführt werden, die Abweichung der Strömung wird sich verschärfen, und diese Wirkung wird sich fortsetzen, bis ein hinreichender Widerstand die Zurückwerfung der Strömung erzeugt; so wird es dasselbe in beiden Fällen sein, da der Zurückwerfungswinkel oder die Schärfe der Krümmung des neuen Ufers nur ausgesprochener im zweiten Falle als im ersten sein wird.

Es ist andererseits augenscheinlich, dass eine erste Zurückwerfung von einer zweiten, darauf von einer dritten gefolgt wird, so dass, sei es

zwischen unangreifbaren, sei es zwischen aushöhlbaren Ufern, die Strömung eine krumme Linie verfolgen und immer von einem Ufer zum andern laufen wird.

Die krumme Gestalt, welche alle Flüsse annehmen, ist denn nicht nur eine allgemeine Thatsache, sie ist auch eine unvermeidliche Thatsache, welche aus der ungleichartigen Zusammensetzung des Bettes hervorgeht; aber man begreift leicht den Einfluss, welchen die Ausdehnung ihrer Veränderlichkeit begrenzende Befestigung der Ufer auf die Festigkeit der Rinne ausüben kann, und mehr noch der „Tracé“, welcher, indem er die Zurückwerfungspunkte und die Richtung dieser Zurückwerfungen bestimmt, das heisst die Anfangsrichtung der Strömung, wenn sie ein Ufer verlässt, als veränderliches Element seiner weiteren Richtung nur noch den Widerstand der Stromsohle beibehält.

Der Querschnitt giebt auch zu bedeutenden Beobachtungen Veranlassung. Wir haben darauf aufmerksam gemacht, dass die rechtwinklige Gestalt dieses Schnitts, d. h. die Horizontalität der Grundlinie nicht fester als die geradlinige Richtung der Strömung war, und wir haben festgestellt, dass dieser Schnitt sich zuerst auf denjenigen Punkten austieft, wo der Boden einen kleineren Widerstand bietet; aber sobald diese erste Umgestaltung sich erzeugt hat, so hören die Tiefe und das Gefälle auf unveränderlich zu sein, und die hinreisende Gewalt verändert sich von einem Punkt des Schnitts zum andern. Die Lage der grössten Tiefen in dem Schnitt, und dadurch die Lage der Thalweglinie, wird also zugleich von dem Widerstand der Stromsohle und von allen Umständen, welche die hinreisende Gewalt verändern werden, abhängig sein.

Wenn die Strömung ein widerstehendes Ufer trifft, von welchem sie zurückfliesst, so erzeugen die flüssigen Schnitte, welche nach und nach ankommen, durch die Hindernisse, welche sie begegnen, angehalten, die einen auf die anderen einen Druck, welcher durch einen widerstrebenden Druck aufgewogen werden muss, und der Wasserspiegel erhebt sich längs der betreffenden Wand.

Die nämliche Thatsache entsteht aus den nämlichen Ursachen, wenn die Strömung ein concaves Ufer verfolgt; die Centrifugalkraft jagt das Wasser gegen das Ufer, und sie ist durch einen Druck der dem Ufer zunächst flüssigen Schnitte aufgewogen, deren Höhe sich erhebt. Auf der Stelle dieser beiden Formen, ist die Wasserfläche in dem Querschnitt nicht horizontal, sie ergiebt eine Erhebung gegen das Ufer, eine Wasserschiefe, welche man leicht nachweisen kann und welche oft stark genug ist, um wahrzunehmen.

Die Folgerungen dieser Thatsache sind vom Gesichtspunkt der Gestalt des Schnitts bedeutend genug, sodass es nützlich ist, sie in ihren besonderen Umständen zu untersuchen; und um unsere Erklärungen zu ver-

einfachen, betrachten wir zuerst den häufigst vorkommenden Fall, denjenigen einer concaven Krümmung (1).

Wir haben gesagt, dass die auf einander folgenden Schnitte, indem sie sich dem Ufer nähern, auf einander einen Druck erzeugen, welcher durch eine Erhebung der Oberfläche aufgewogen werden muss; aber da die Geschwindigkeiten auf der ganzen Höhe eines flüssigen Schnitts nicht dieselben sind, indem sie stärker an der Oberfläche als unten sind, so wird sich der von einem Schnitt erzeugte Druck nicht gleich auf die ganze Oberfläche des vorhergehenden Schnitts vertheilen; die von einer grösseren Geschwindigkeit belebten Oberschichten werden einen stärkeren Druck als der Durchschnittliche ausüben, und die Unterschichten einen weniger starken Druck. Die Oberschichten werden also die Vorhergehenden auf Seite des concaven Ufers zurückdrängen, indem sie eine gegen dieses Ufer geführte Querströmung veranlassen werden, die man leicht bemerken kann. Gegen das Ufer werden diejenigen Schichten nach und nach versinken, welche nach einander von den herkommenden Schichten bedeckt werden, indem sie zu einer niedersteigenden Strömung Anlass geben; wenn sie auf den Grund ankommen und neben sich selbst Schichten finden, deren Druck schwächer ist als derjenige, welchen sie selbst ertragen, so werden sie diese letzten zurückdrängen, indem sie eine Querströmung veranlassen, welche sich von dem concaven Ufer entfernt; nachher kommen sie wieder zu ihrem Ausgangspunkt zurück, indem sie zu einer emporsteigenden Strömung längs dem entgegengesetzten Ufer Anlass geben. So werden sie zu gleicher Zeit an der allgemeinen Bewegung der Wasserbeförderung Theil haben, und auch eine kreisartige Bewegung in dem Querschnitt verfolgen, so dass ihre resultirende Bewegung, welche sehr verschieden von der mit gleichlaufenden Fäden ist, etwa einer schraubenförmigen Bewegung ähnlich sein wird.

Diese Bewegung wird durchaus auf diejenige der Materialien zurückwirken. Wenn wir zuerst einen horizontalen Grund voraussetzen, so wird die hinreissende Gewalt stärker sein an dem Punkte, wo die Tiefe selbst grösser ist, das heisst an der Seite, wo sich die Wasserschiefe erzeugt; da die Wasser sich mit Materialien überlasten sollen, so werden sie mehr Materialien auf die concave, als auf die convexe Seite mitschleppen, und da ihre Bewegung sie immer von dem concaven nach dem convexen Ufer führt, wo die hinreissende Gewalt schwächer ist, so legen sie da einen Theil der Materialien, welche sie mitschleppen, ab. Diese Wirkung verschärft sich nach und nach, weil die Tiefenverschiedenheit zwischen den beiden Ufern sich vermehren wird, und sie wird damit fortfahren, bis die Böschung der convexen Seite ein so grosses Gefälle angenommen

---

(1) BOUSSINESQ, Essai sur la théorie des eaux courantes; — DU BOYS, Annales des Ponts et Chaussées, 1879.

hat, dass die Schwerkraft die weitere Querbeförderung der Materialien aufhalten kann.

Wenn das Flussbett sehr breit ist, so kann es vorkommen, dass die Kraft der Grundquerströmung unzulänglich ist, um die Beförderung der Materialien auf ihrer ganzen Breite bis zum convexen Ufer zu bewirken; die Niederlegung wird sich also bilden, bevor sie an dieses Ufer kommt, mehr oder weniger nahe bei der Mitte des Flussbettes, und es werden sich zwei Thalwege bilden: der Bedeutende in der Nähe des concaven Ufers, der Secundäre neben dem convexen Ufer, und von einander durch eine Schranke beinahe in der Uferichtung getrennt.

Wenn aber im Gegentheil die Querströmungskraft rücksichtlich der Breite des Flussbettes genügend ist, um die Beförderung der Materialien bis zum convexen Ufer zu vollführen, so wird nur ein einziger Thalweg neben dem concaven Ufer da sein, und der Querschnitt wird eine ähnliche Gestalt annehmen wie diejenige eines Dreieckes, dessen Basis der Wasserspiegel bildet, und welches seinen Gipfel auf der Thalweglinie haben würde.

Wenn die Krümmung des Ufers sehr scharf ist, so wird die Wasserschiefe sehr bedeutend und die Querströmungskraft sehr gross; demzufolge wird das Bett ganz gegen das concave Ufer tief ausgehöhlt, während die Ablagerungen sehr beträchtlich an dem convexen Ufer sein werden und sich namentlich auf eine schiefe Böschung werden stützen können; das convexe Ufer wird sich vorwärts schieben, indem es das Bett verengt, je nachdem es sich aushöhlen wird. Also wird die Rinne um so tiefer und enger, und der Thalweg um so näher am Ufer sein, als die Krümmung desselben bedeutender sein wird.

Es ist andererseits klar, dass ähnliche Wirkungen sich erzeugen werden längs jedem barschen widerstehenden Vorsprung, wo gegen die Strömung stossen wird, welche dort eine Wasserschiefe erzeugen und einen Theil seiner lebendigen Kraft verlieren wird.

Ihre Heftigkeit und ihre Ausdehnung werden von der Länge und der Richtung des Hindernisses oder des Ufers, und auch von derer Schnittgestalt abhängig sein.

Wenn das widerstehende Ufer eine sehr schwache Böschung vorstellt, werden ohne Schwierigkeit die aufgewühlten Wasser sich ausbreiten; die Wasserschiefe wird sehr wenig sichtbar sein und die Vertiefung wenig beträchtlich.

Wenn im Gegentheil das widerstehende Ufer durch eine rasche oder senkrechte Böschung gebildet ist, sei es durch einen Damm, eine Mauer, eine Felsenwand, so werden die aufgewühlten Wasser sich nicht mehr ausbreiten, es wird die Wasserschiefe mehr sichtbar und die Vertiefung mehr beträchtlich sein.

Wenn endlich das Hinderniss sehr hoch ist, so werden sich die ähnlichen Thatsachen bei jedem Wasserstande einstellen, das heisst bei dem

Hochwasser, wie bei dem mittleren Wasser, und sie werden um so hervortretender als die wirksamen Kräfte beträchtlicher waren.

Jedes Hinderniss, jedes schiefe oder concave widerstehende Ufer hat also als Wirkung, die Vertiefung des Flussbettes in seiner Nähe hervorzurufen, und dies desto mehr als es widerstehender, barscher, senkrechter, schiefer oder von schärferer Krümmung ist; und da es eine bezügliche fortdauerende Ursache bildet, so wird seine Wirkung sich nicht nur geltend machen um die Tiefungen zu erzeugen, sondern auch um dieselben beizubehalten.

Wir haben endlich noch zu untersuchen, was an dem Längenschnitt vorübergeht. Man kann gleich voraussehen, dass die ähnlichen Ursachen, welche die Krümmungen des Grundrisses und die ungleiche Tiefenvertheilung in dem Querschnitt verursachen, in ähnlicher Art auf den Längenschnitt wirken und sich der Einförmigkeit seines Gefälles widersetzen werden. Die Vertheilung der Tiefen in dem Querschnitt ist von dem Grundwiderstand und zugleich der Gestalt und der Art des Ufers, welche die Wasserbewegung und die hinreissende Gewalt verändern, abhängig; diese Umstände sind nicht dieselben in allen Schnitten und demzufolge werden die grössten Tiefen sich nicht gleich bleiben, und nicht die nämlichen Stellen behalten. Da andererseits die krumme Gestalt des Grundrisses den aufeinander folgenden Vorübergang von einem zum andern Ufer fortzuschleppt, so wird jedes Ufer abwechselnd Punkte darbieten, wo die örtlichen Anordnungen sich zur Aufrechthaltung der Tiefungen hergeben und dadurch ungünstig für die Bildung der Ablagerungen sein werden. Daraus folgt, dass wenn nach einem Hochwasser die Materialien stehen bleiben, die Ablagerungen zwischen diesen Punkten, dass heisst im Durchgang von einem zum andern Ufer, sich erzeugen; die Gestalt, die Richtung und die Wichtigkeit dieser Ablagerungen werden zugleich von den örtlichen Anordnungen und der besonderen Verfassung des Hochwassers abhängig sein.

Wenn also einmal das Hochwasser vorbei ist und die Materialienbewegung aufhört, so wird der Längenschnitt des Thalwegs, Linie der abwechselnd tiefen und hervortretenden Punkte, durch eine Reihe Gefälle und Gegengefälle gebildet, welche um das mittlere Gefälle des Flusses schwingen. Und das Bett wird durch eine Reihe von Gruben gebildet, welche allgemein bald auf einem, bald auf anderm Ufer liegen und durch Schwellen getrennt sind, deren Gestalt, Höhe und Richtung von einem Punkte bis zum andern verändern werden.

Die dauernde Beobachtung bekräftigt diesen Schluss. Alle Wasser Sondirungen deuten diese Gestalt an, welche auf den Flüssen mit sehr veränderlichem Abflusse, wenn das Wassertief fällt, ganz augenscheinlich wird. Und wenn der Abfluss gleich Null wird, wie es zum Beispiel bei niedrigem Wasserstande auf einem Neben-arm kann vorkommen, welcher nur mit mittleren Ständen Wasser empfangt, so findet man eine Reihe

kleiner Seen mit ganz ruhigem Wasser und von ganz trockenen Bänken getrennt, anstatt eines ganz trockenen Flussbettes, wie man es finden würde, wenn das Gefälle gleichförmig oder wenigstens immer in derselben Richtung geführt würde.

In einem mehr oder weniger auffallenden Grade findet sich diese Gestalt des Bettes auf allen Flüssen, und der Abfluss erfolgt hier in der That wie auf den künstlich gedämmten Flüssen. Die Grundgestalt wirkt auf diejenige der Wassergestalt zurück und die Schwellen zerschneiden diesen Schnitt in eine Reihe Haltungen mit schwachem Gefälle und von Abstürzen getrennt. Diese Gestalt wird vornehmlich mit niedrigem Wasserstande offenbar; je nachdem sich das Wasser erhöht, verschwinden die mehr oder weniger überschwemmten Schwellen und vermindern sich diese örtlichen Unregelmässigkeiten. Sie sind andererseits um so stärker, als das allgemeine Gefälle des Flusses bedeutender, der Abfluss veränderlicher, die Sohle beweglicher ist und seine Hervorragungen bestimmter sind.

Es besteht gleichwohl zwischen den künstlich gedämmten Flüssen und den natürlichen Flüssen eine andere Verschiedenheit als die Grösse der Wirkungen: in den ersten sind die Lage, die Richtung und die Höhe der Dämme ganz fest, während sie in der andern veränderlich sind.

Wenn wir in der That den Moment betrachten, wo der Abfluss schwach genug ist, dass sich in keinem Punkt eine Materialienbewegung erzeuge, so werden die Gestalt des Flussbettes und die Lage der Schwellen, so lange das Wasser nicht steigen wird, sich nicht verändern. Aber wenn Hochwasser dazukommt, wird die hinreissende Gewalt hinreichend sein, um die Materialien in Bewegung zu setzen; die Gestalt des Flussbettes wird sich ändern, und seine Umgestaltung wird vermehren bis zum Augenblick des Maximum; dann, als das Wasser fällt, wird sich eine umgekehrte Umarbeitung erzeugen, welche fort dauern wird bis durch die Verminderung des Abflusses die hinreissende Gewalt in jedem Punkt schwächer als der Grundwiderstand geworden ist, bis alle Beförderung der Materialien stehen bleibt und alle Veränderung der Gestalt aufhört. In diesem Moment werden die Materialien, welche das Flussbett vor dem Hochwasser bedeckten und die während des Wachses weggetragen sind, durch diejenigen ersetzt, welche herbeigeführt sind und sich jetzt während des Falles ablagern; aber ihre Menge und ihre Lage werden verschieden sein. Alle Hochwasser in der That sind nicht ähnlich, ihre Bedeutung und ihre Art sind verschieden; in diesem sind es die reissenden Nebenflüsse, welche vorherrschen, in jenem sind es die ruhigen Nebenflüsse. Jedes Hochwasser findet vor sich ein Bett, welches von demjenigen in welchem das vorhergehende Hochwasser gelaufen hat, verschieden ist, und das verschiedene Arten im Wachsen wie im Fallen darbietet.

Nach seinem Durchzug wird wohl das Hochwasser, wie das Vorhergehende, ein krummes Bett nachlassen, welches von einer Grubenreihe

von Schwellen getrennt, gebildet ist, weil diese allgemeinen Anordnungen, um wieder zu erscheinen nur den ungleichen Widerstand des Bettes brauchen, welcher, zwischen der Abwechslung der Hochwasser, eine fortdauernde Ursache bleibt; es ist aber augenscheinlich, dass die Gestalt des Bettes, die Richtung der Ufer, die Lage der Tiefen, die Stellung, die Richtung und die Hervorragung der Schwellen verändert sein werden.

Diese Umgestaltungen werden mehr oder weniger bedeutend sein, in Gemässheit der Verschiedenheiten, welche untereinander die allmählichen Hochwasser vorstellen, und der Verschiedenheiten, welche sie im Moment ihres Durchzuges in der Gestalt und dem Widerstand des Flussbettes und der Ufer finden.

Aus diesem Grund bemerkt man auf den meisten Flüssen im Naturstande fortwährenden Umsturz nach jedem Hochwasser; weil im Gegentheil auf denjenigen Flüssen, deren stark befestigte Ufer durch ihren Entwurf die Lage der Tiefen bestimmen, sich die Gestalt des Grundrisses durch die gewöhnlichen Hochwasser wenig ändern; die Tiefen erzeugen sich wieder an den dazu günstigen Punkten, und die Ablagerungen stellen sich wieder immer fast an denselben Plätzen ein und unterscheiden sich nur in ihrer Richtung und Hervorragung nach der Art und Menge der bewegten Materialien.

Diese relative Festigkeit bildet eine bedeutende Verbesserung für den Zustand der Uferbesitzungen, aber eine unzulängliche Verbesserung für die Schifffahrt; denn die bedeutenden Schwierigkeiten bestehen gerade für sie in der Hervorragung und der Richtung der Schwellen, welche sie überschreiten soll; aber sie vereinfacht die Aufgabe und erlaubt in mehreren Fällen, ihr eine befriedigende Lösung zu geben.

Wir beschränken hierauf diese allgemeinen Bemerkungen, welche man leicht entfalten und ausdehnen kann; sie genügen aber um einige wesentlichen Thatsachen augenscheinlich zu machen, die es nöthig ist, zu berücksichtigen, wenn man Regulierungsarbeiten unternimmt, und welche wir in einigen Worten kurz zusammenfassen werden.

1°. Die natürlichen Flüssen schleppen mit ihrem Wasser feste Materialien mit. Die Menge dieser Materialien ist von dem Bodenwiderstand des Gebietes und des Flussbettes abhängig; sie vermehrt sich mit der Wassermenge und dem Gefälle.

Die Wasserbewegung ist periodisch; von einem Schwachen, gehen sie zu einem starken Abfluss über und umgekehrt; aber wenn einmal die Wasser geschleudert sind, erstrecken sie ohne Halt ihre Bewegung bis an das Meer. Die Materialienbewegung verfolgt die Perioden der Wasserbewegung; aber anstatt ununterbrochen zu sein, ist sie abwechselnd; ihr Fortgang nach dem Meere verwirklicht sich durch allmähliche Reisen.

2°. Die Gestalt aller Gewässer ist im Grundriss krumm, sie ist aus

einer Reihe von Krümmungen und Gegenkrümmungen zusammengesetzt, welche sich in umgekehrter Richtung folgen und durch mehr oder weniger schroffe Verbindungen vereinigt sind.

3°. Die Tiefe ist ungleich in dem Querschnitt vertheilt; sie ist grösser in denjenigen Theilen des Bettes, welche den mindesten Widerstand in der Hinreissung darbieten. Die widerstehenden, hervortretenden, scharfen oder erhöhten Hindernisse und die concaven Krümmungen ziehen die Tiefen an und halten sie fest.

4°. Der Längenschnitt des Thalwegs bietet weder ein gleichförmiges, noch ein ununterbrochenes Gefälle dar, sondern eine gewisse Zahl Hauptgefälle, deren Biegungen und Abschüssigkeit durch die Felsenschwellen oder die bedeutenden Nebenflüsse bestimmt werden. In dem Zwischenraum dieser Durchzugpunkte ist er durch Gefälle und Gegengefälle gebildet, welche eine krumme Linie gestalten, die um das mittlere Gefälle der Strecke schwingt, indem sie sich demselben mehr oder weniger nähert.

Die Hervorragungen und die Auskolkungen dieser krummen Linie werden durch die untergeordneten Nebenflüsse und durch die Vertheilung des Widerstandes im ganzen Bettraum bestimmt.

5°. Das Flussbett ist durch eine Reihe von durch Schwellen getrennten Gruben gebildet und der Längenschnitt der Wasseroberfläche nimmt die Treppenbildung an, deren Absätze den Haltungen und deren Stufen den Schwellen entsprechen. Diese Gestalt ist desto ausgesprochener als das allgemeine Gefälle des Wassers stärker ist; sie ist besonders sichtbar, wenn das Wasser sehr niedrig ist; sie vermindert sich und das Oberflächengefälle bestrebt sich nach Regelmässigkeit nach Massgabe der Vermehrung des Abflusses.

6°. Jedes Hochwasser erneuert die Materialien, welche das Bett überziehen, und seine Gestalt verändern. Die neue Gestalt ist durch ihre allgemeinen Anordnungen, Krümmungen der Ufer und des Thalwegschnittes gebildet; sie ist mehr oder weniger von der alten Gestalt verschieden, nach Verhältniss der Umstände, durch den Entwurf der Krümmungen, die Lage der Tiefen, den Zustand, die Richtung und die Hervorragung der Schwellen.

Aber wenn auf einem Fluss die Ufer stark befestigt sind, verändern nur die Hochwasser in eingeschränkten Verhältnissen die Gestalt des Grundrisses, und nach ihrem Durchzug erzeugen sich die Tiefen in denselben Punkten, bilden sich die Schwellen an denselben Stellen wieder, und sind nur durch die Hervorragung und die Richtung verschieden.

## II.

## Regulierungsarbeiten.

## METHODE DURCH EINENGUNG.

Die ersten Arbeiten, welche auf den Flüssen ausgeführt werden, haben zum gewöhnlichen Zweck die Vertheidigung der Besitzthümer gegen Zerstörung und Ueberschwemmungen. Sie bestehen in Uferbekleidungen, in Bühnen um die Strömung von den Ufern zu entfernen, in Dämmen, um die Ueberschwemmungen einzuhalten. Aber da sie in sehr verschiedenen, oft sehr alten Zeiten, ohne Methode und ohne Zusammenansicht unternommen worden sind, so haben sie im allgemeinen der Schifffahrt keinen Vortheil gebracht; sogar haben sie ihr Hindernisse in den Weg gelegt.

Die eigentlichen Regulierungsarbeiten, und im allgemeinen alle diejenigen, deren Hauptzweck die Verbesserung der Schiffbarkeit der Flüsse war, sind erst seit kurzem unternommen worden und haben erst seit der Eröffnung der Eisenbahnen eine grosse Erweiterung genommen; die Regelmässigkeit der Beförderungen, welche deren Folge war, ist ein Bedürfniss des Verkehrs geworden, und man sollte sich bemühen, sie auf den schiffbaren Wasserstrassen möglich zu machen, indem man die Verbesserung ihres Entwurfes, die Vermehrung ihrer Fahrwassertiefe, die Verlängerung der Periode, während derjenigen sie vortheilhaft ausgenützt werden könnten, unternähme.

Diese Aufgabe is also relativ neu. Sie wurde in einer sehr befriedigenden Art in jedem Orte gelöst, wo es möglich war, die Flüsse durch bewegliche Wehre zu kanalisiren; da aber, wo verschiedene Ursachen, deren Untersuchung den Rahmen dieses Berichtes überschreiten würde, diesen Entschluss haben aufgeben lassen, um sich auf die Regulirung des freien Laufes zu beschränken, hat die noch schwieriger Aufgabe nur weniger vollständige und noch zahlreicher Vervollkommnungen fähige Lösungen bekommen. Das gibt ein wahrhaftes Interesse an der Untersuchung der gemachten Versuche und an der Kenntniss der erlangten Ergebnisse.

In den Regulierungsarbeiten, so wie sie im allgemeinen vorgenommen werden, fängt man an, die in verwilderte Arme getrennten Wasser in ein Bett zusammenzubringen. Danach versucht man, die Unregelmässig-

keiten der Ufer dieser Rinne zu beseitigen, die Schärfe ihrer Linien zu vermindern und ihrem Entwurf solche Gestalten zu geben, dass sich für die Linie der grössten Tiefen eine Richtung ergibt, welche die Schiffe leicht verfolgen können. Man sucht endlich und vornehmlich zu erlangen, dass, wenn man die Wasser zwischen sich hinlänglich genäherten Werken in dieses kleine Flussbett zurückdrängt, ihr Ablauf mit der gesuchten Tiefe vor sich geht, durch den doppelten Erfolg der durch die Verengung erzeugten Anschwellung und der kräftigeren Wirkung, welche sie üben, um die Schwellen abzukämmen und die Sohle zu graben.

Die erste Verrichtung fordert keine weitere Bemerkung: ihre Nothwendigkeit ist augenscheinlich; die Schifffahrt ist im allgemeinen überall leicht, wenn das Wasser ein wenig hoch ist; die Schwierigkeiten fangen nur an, wenn der Abfluss fällt; die erste zu erfüllende Bedingung ist also, nichts zu verlieren von dem, über was man verfügt und in die Fahrinne alles, was in dem Fluss bei niedrigem Wasserstande läuft, zusammenzubringen.

Die Regulirung und der Entwurf der Ufer sind schwierigere Verrichtungen, zuerst weil man oft durch die örtlichen Umstände gehindert wird, und dann, weil die Kosten viel kleiner sind und das Ergebniss viel sicherer ist, wenn man die zu sehr bedeutenden Erdversetzungen meidet.

Auf gewissen Flüssen besteht der Entwurf aus Kreisbögen, welche durch gerade Linien verbunden sind; auf anderen nimmt man die Sinusoide an oder ähnliche Kurven mit ununterbrochenen Krümmungen; aber wie auch die angenommenen Gestalten sind, der Entwurf ist fast immer krumm und soll sich nach einer gewissen Zahl allgemeiner Nachweisungen richten, welche sich aus der Erfahrung ergeben.

Die langen geraden Linien geben nur einen veränderlichen und ungewissen Thalweg; ausserdem, da sie den Lauf verkürzen, so vermehren sie das Gefälle und die Geschwindigkeit, und sind für die Gestaltung und Erhaltung einer tiefen Rinne schädlich.

Die scharfen Kurven dagegen sichern gewiss die Lage des Thalwegs, aber sie veranlassen die Bildung einer engen und tiefen Rinne; dieser Umstand und die scharfen krummen Linien erschweren die Schifffahrt in hohem Grade.

Die Krümmungen mit grossem Radius bieten keinen dieser Nachtheile dar und werden aus diesem Grund im allgemeinen gebraucht, wenn es möglich ist. Jedoch, ohne bestimmte Regeln in dieser Hinsicht ausdrücken zu können, gibt es gewisse Verhältnisse welche es passend ist, zwischen der Breite des Bettes, und dem Radius, der Bogenhöhe oder Flesche und der Länge der Krümmungen zu beobachten. Wenn zum Beispiel die zwischen dem Gipfel einer Krümmung und der den zwei auf einander folgenden umgekehrten Krümmungen gemeinschaftlichen Tangente gemessene Flesche kleiner wäre, als die Breite des Bettes, so könnte eine geradlinige Strömung zwischen den Werken entstehen, und würde die unzu-

länglich geführte Rinne unbeständig sein; im allgemeinen ist die nothwendige Bedingung, um diesen Nachtheil zu vermeiden, natürlich für das relativ enge Sommerbett, erfüllt; aber es ist nöthig, diesen Zustand für das Winterbett zu betrachten, welches viel breiter ist, weil eine schlechte Richtung der Hauptströmung des Hochwassers sehr schwere Störungen in der Rinne der niedrigen Wasser erzeugen könnte. Ebenso muss man vermeiden, dass die Richtung, nach welcher die Strömung ein concaves Ufer verlässt, dass heisst die Richtung der Tangente im Biegepunkt, dem entgegengesetzten Ufer in einem convexen Theil begegne; dieses würde also angegriffen sein, wenn es nicht vertheidigt wäre, und der Entwurf des Bettes wäre verunstaltet; und wenn es selbst vertheidigt wäre, so würden sich auch an den Füßen der Vertheidigungswerke Tiefen erzeugen, welche auch noch die Umgestaltung der Rinne herbeiführen würden.

Diese zu erfüllenden Bedingungen, sowie die örtlichen Umstände, welche man beachten muss, enthalten gewöhnlich die anzunehmende Lösung für den Entwurf der Ufer in sehr beschränkten Grenzen, zwischen denen jedoch einen gewissen Spielraum bleibt; es ist zweckmässig, diesen zu benutzen, um den Ufern die Gestalt zu geben, welche am besten für eine gute Vertheilung der Tiefen passt.

Die allgemeine Erfahrung und die so richtigen Beobachtungen des Herren FARGUE über die Garonne haben mit einer vollständigen Augenscheinlichkeit den Vorzug gezeigt, welchen in diesem Punkte die Entwürfe mit ununterbrochener Krümmung darbieten.

Es bleibt endlich die schwerste Frage zu beantworten, diejenige des Uferzwischenraumes oder der mittleren Breite des normalen Schnittes, welcher einem bestimmten Abfluss entspricht.

Man berechnet diese Breite mit der bekannten Formel der dauernden Bewegung in den offenen Kanälen;

$$R i = b. u^2$$

worin  $i$  das mittlere Gefälle des Flusses in der beobachteten Strecke ist, wo der Abfluss gleich bleibt,  $u$  die mittlere Geschwindigkeit und  $R$  der mittlere Radius (1), welcher in den grossen Gewässern sehr wenig von der mittleren Tiefe verschieden ist.

Was den Coefficient  $b$  betrifft, begnügt man sich bald, denjenigen zu erwählen, welcher sich aus Versuchen ergibt, die die Formel zu etabliren gedient haben, indem man diejenigen wählt, wo die Art der Wände des Versuchskanals sich den Zuständen, welche man auf dem Flusse begegnet, am meisten nähert; bald, um eine grössere Genauigkeit zu haben, ist er durch Versuche auf dem Flusse selbst, welchen man reguliren soll, bestimmt. So dass, wenn man die gesuchte mittlere Breite  $L$  heisst und  $Q$  den Abfluss des betrachteten Durchschnitts des Flusses, man:

(1) Wenn  $\Omega$  der Durchschnitt ist und  $\chi$  der getauchte Umfang,  $R = \frac{\Omega}{\chi}$

$$Q = L \times R \times u$$

findet und demzufolge:  $L^2 i = b \frac{Q^2}{R^3}$

In dieser Formel sind alle Quantitäten bekannt, wenn man die mittlere Tiefe  $R$  feststellt.

Zuweilen beschränkt man sich darauf als Werth von  $R$  die Fahrwassertiefe, welche man zu erlangen sucht, zu nehmen; ein anderes Mal sucht man durch eine, auf dem ganzen Flussraume, wo der Abfluss gleich  $Q$  ist, vorgenommene Prüfung, eine mittlere Tiefe  $R_1$ , welche aus einer grossen Schnitzzahl berechnet ist, und zugleich misst man die Minimal-Fahrwassertiefe  $t$ , welche sich natürlich auf dem nämlichen Flussdurchschnitt ausführt, und also erlangt man die mittlere Tiefe  $R$ , welche in die Formel, für die Bestimmung der mittleren Breite des normalen Schnitts durch die eine oder die andere der beiden nachfolgenden Verhältnisse einzuführen ist, in denjenigen  $T$  die Fahrwassertiefe vorstellt, welche zu erreichen ist:

$$R - T = R_1 - t$$

$$\text{oder } \frac{R}{T} = \frac{R_1}{t}$$

welche natürlicherweise beide willkürlich sind.

Nachdem man die Breite des Schnittes so berechnet hat, kann man das zu schaffende Bett begrenzen, sei es durch der Entwurfachse gleichlaufende Deiche, sei es durch Querwerke welche in gewissen Entfernungen den angenommenen normalen Schnitt überragen. Die Wahl zwischen beiden Werkarten ist von den Umständen abhängig.

Auf den Flüssen mit starkem Gefälle, wendet man im allgemeinen gleichlaufende Deiche an; auf den andern giebt man sehr oft den Querwerken den Vorzug, da wo die Art der Materialien, über die man verfügt, Steine für die Ausführung der Arbeiten gebrauchen macht, nimmt man sehr oft zu Dämmen die Zuflucht. Das Gegentheil erzeugt sich, wenn man Faschinenwerke ausführt, welche in der Querrichtung leichter als in der Längerrichtung festzustellen sind.

Die Dämme leiten die Strömung bei grossen Geschwindigkeiten besser; die Bühnen verursachen leichter die Zusammenfügung der abgelagerten Geschiebmassen; aber der grosse Vortheil, welchen letztere Werke anbieten, wenn man sie anwenden kann, ist, dass es leicht wird mit ihrer Erweiterung den erst angenommenen Schnitt zu verändern. Wirklich versteht man leicht, wie unsicher die Bestimmung der Schnittbreite durch die hieroben bezeichneten Formeln ist; die Verschiedenheiten, welche wir in der Art ihrer Anwendung angezeigt haben, würden hinreichend sein, um die zahlreichen Irrthumsfälle zu zeigen, welche ihre Anwendung mitbringt. Es ist schwerer, diese Irrthümer mit Parallelwerken als mit Querbühnen zu verbessern; denn es ist zu bemerken, dass wenn man Werke dieser Art wieder anfängt, um die Breite des angeeigneten

Schnitts zu ändern, man fast immer dieselbe vermindern wird, und dies kann von mehreren Sachen abhängen: entweder hat man zum ersten Mal aus Vorsicht eine umfangreichere Einengung nicht ausgeführt; oder, da die vorausgesehenen Arbeiten bei einem bezüglich hohen Spiegel ausgeführt sollten, wurde der Schnitt mit Bedacht auf den Abfluss des mittleren Wasserstandes vorgesehen, und es geschieht also, das bei niedrigem Wasserstande, während die Arbeiten von Wirkung sein sollten, sie von der Rinne entfernt bleiben, welche sich nicht mehr an sie anlehnt und hin und her pendelt; oder man erkennt einfach, dass das Ergebniss die Erwartungen betrogen hat, dass die gesuchte Fahrwassertiefe nicht erlangt ist, und man ist genöthigt, dieselbe durch eine neue Einengung zu erzielen. Wenn die Rinne durch Dämme begrenzt ist, giebt es keine anderen Hülfsmittel als noch andere Dämme auszuführen, was zahlreiche Beschwerden ausser den Kosten inne hat; mit Querbuhnen kann die Abänderung des Schnittes sich unter wenig theueren und sehr befriedigenden Bedingungen erfüllen, weil es alsdann hinreichend ist, die Buhne bis an den Spiegel der niedrigen Wasser zu erweitern, was in Wirklichkeit zwei deutliche Schnitte ausmacht: den einen für die niedrigen Wasser und den andern für die mittleren Wasser. Diese sehr vernünftige Einrichtung findet sich auf vielen Flüssen, sei es, dass sie nachträglich, sei es, dass sie schon beim Anfang der Arbeiten angenommen wurde. Aber dieser Vortheil, wie merklich er sei, könnte den Querwerken nicht die Eigenschaften geben, welche ihnen für gewisse Zwecke mangeln, besonders, um die Strömung gut in die stark concaven Krümmungen und in die grossen Gefälle zu richten; darum wurde man gezwungen, in vielen Fällen ein gemischtes System anzueignen, in welchem jede dieser Arbeitsarten wechselweise nachdem sie sich dazu am besten an der Stelle eignet, angewendet wird.

Solches sind die Hauptzüge und die gewöhnlichsten Regeln der Methode der Regulierung durch Zusammendrängung. Ihre Anwendung bietet von einem Flusse zum andern sehr empfindliche Verschiedenheiten, sei es hinsichtlich der Principen, die beim Uferentwurf vorherrschen, sei es hinsichtlich der Berechnungsweisen des normalen Schnittes, sei es hinsichtlich der Wahl der Werke, mit welchen man die Zusammendrängung vornimmt.

Aber wie auch diese Verschiedenheiten seien, so bleibt das Princip dasselbe: man bestimmt in Funktion des bekannten Gefalles und Abflusses den Schnitt, welcher dem Ablauf mit der gesuchten Tiefe zukommt und man wendet diesen Schnitt in der regulirten Achse der Rinne an, auf dem ganzen Flussraum, wo der Abfluss sich ähnlich bleibt, sei es durch einen ununterbrochenen Dämm, sei es unterbrochen von Ort zu Ort mit Buhnen, so dass beim Kalibriren des Flusses und bei Vorausfeststellung des Normalschnittes, welcher sich in einem Kanal von regelmässigem Gefälle und unveränderlicher Tiefe verwirklichen würde, man die

Regelmässigkeit dieses Gefälles und dieser Tiefe hervorzubringen sucht.

Diese Methode wurde lange Zeit auf der Rhône verwandt und fast ausschliesslich bis zum Jahre 1882. Sie hat daselbst, örtliche, oft vortreffliche Ergebnisse gegeben, und es wären auf diesem Flusse wichtige Strecken zu bezeichnen, welche durch dieses Verfahren verbessert wurden und sogar mehrere Strecken in welchen der Erfolg die Voraussetzungen übertroffen hat; aber auch hat dieses Verfahren da zahlreiche Irrthümer verursacht, und die Irrthümer wurden häufiger, je nachdem die Bedeutung der Arbeiten zunahm, nachdem es möglich wurde, ihre Wirkung besser zu beurtheilen, nicht nur auf der regulirten Abtheilung, sondern auch auf den benachbarten Abtheilungen. Diese Wirkung, welche fast immer schädlich ist, bleibt ausserdem dieselbe, sei es, dass es sich um die Verbesserung einer kurzen Strecke handelt, oder um eine Regulirung, welche einen grossen Theil des Flusses umfasst. Und es ist leicht zu begreifen, dass es nicht anders sein kann, da man die Grundsätze kennt, auf welche diese Arbeiten begründet sind.

Aus den Erklärungen, welche wir im ersten Theil dieses Berichtes gegeben haben, folgt, dass das Flussbett durch eine Reihe von bezüglich tiefen und durch Schwellen getrennten Haltungen gebildet ist; der Längenschnitt des Wassers bietet schwache Gefälle auf den Haltungen und einen Absturz auf den Schwellen dar. Auf den Schwellen ist die Fahrwassertiefe immer am schwächsten; diese Stellen hindern und müssen verbessert werden. Um die Tiefe, welche unzulänglich ist, zu vermehren, schliesst man den Fluss auf einen gewissen Raum, oberhalb und stromabwärts der Schwelle zwischen Werken, welche die Breite des Bettes auf die wie oben berechnete Grösse beschränken, und welche dem Abfluss bei der gesuchten Tiefe entspricht.

Wenn die Stromsohle widerstehend ist, verlaufen die Dinge, wie man es vorausgesehen hat, und erfolgt die berechnete Anschwellung mehr oder weniger genau; aber so ist es nicht im allgemeinen; die Stromsohle ist beweglich: am Punkt, wo man die Einengung vornimmt, ist die Sohle von Materialien gebildet, welche die Wasser, bei der Höhe und dem Gefälle zur Zeit des Wasserfalles, mitzuführen aufgehört haben.

Die Einengung verändert den Naturzustand, welcher die Gestaltung des Bettes verursacht hat, und, indem sie die Höhe des flüssigen Schnittes, welche auf die Sohle wirkt, vermehrt, vergrössert sie auch die hinreissende Gewalt; die Stromsohle vertieft sich, die Schwelle wird weggetragen, die gesuchte Tiefe ist erlangt und oft überschritten; aber zugleich verschwindet auch die Sperre, welche das Wasser in der Haltung stromaufwärts festhielt, und deren Wasserspiegel fällt. Es erzeugt sich da etwas ganz ähnliches, wie es auf einem kanalisirten Flusse geschieht, wenn man das Wehr niederlegt: die Zurückhaltung verschwindet, der Wasserspiegel der Haltung fällt, der Absturz überträgt sich auf den vorgehenden und vermehrt denjenigen des Oberwehres, wenn nicht in dem Zwischenraum eine natürliche Schwelle besteht, welche, untergetaucht, als das Wehr aufgehoben war,

nach seinem Niederlassen eine zwischenliegende Stauung bilden und den verwischten Absturz mit dem Oberwehr theilen wird. Auf dieselbe Art vermehrt die Abstumpfung eines Rückens den Absturz der unmittelbar oberen Schwelle und macht dieselbe schlechter; ebenso auch bringt sie zwischenliegende Rücken oft an den Tag, welche vor der Ausführung der Arbeiten untergetaucht genug waren, um keinen Nachtheil zu verursachen, die aber nach der Ausführung erscheinen und jetzt zu ihrer Zeit schwierige Durchgänge bilden.

Diese Wirkungen können ausserdem durch diejenigen, welche sich stromabwärts der Arbeiten erzeugen, vermindert werden. Die aus der Untiefe abgerissenen Materialien werden so lange fortgetragen, als die hinreissende Gewalt hinreichend ist; wenn diese vermindert, lagern sie sich ab, gewöhnlich bei der ersten Flussverbreiterung, sei es unmittelbar stromabwärts der Arbeiten, sei es an einem andern günstigen Punkt; eine neue Untiefe bildet sich und die Stauung, welche daraus erfolgt, kann theils diejenige ersetzen, welche weggenommen wurde und in mehr oder weniger starkem Masse das Fallen des Wasserspiegels ausgleichen.

Aber jedenfalls erfolgt daraus, wenn man eine Stufe wegnimmt, da der Längenschnitt eines Flusses von einer Stufenreihe gebildet ist, der eine oder der andere dieser Umstände: entweder die aufgehobene Stufe wird sich andererseits wieder herstellen, oder ihre Höhe fügt sich zu einer welche ihr nahe liegend war hinzu, oder endlich auch theilt sie sich unter den Andern; aber es bleibt die nämliche Stufenzahl, ihre Stellen haben sich allein verändert; oder es bleibt eine geringere Zahl, indem ihre Höhe sich vermehrt hat. Die erlangte Verbesserung an dem Punkt, wo die Untiefe verschwunden ist, ist durch eine Erschwerung an einem anderen Punkte oder an mehreren anderen Punkten ausgeglichen.

Damit es anders wäre, müsste die aufgehobene Stufe durch ein Gefälle ersetzt werden, dessen ganze Höhe derjenigen der Stufe gleich sein würde; das heisst, dass die zwei Haltungen mit schwachem Gefälle, welche durch die Schwelle getrennt waren, durch einen Kanal mit regelmässigem Gefälle ersetzt werden müssten, welcher sich von der oberen bis zu der unteren Schwelle ausdehnen würde. Und es ist nothwendig, diese Ergebnisse zu erreichen, wenn man wahrhafte Verbesserungen durch diese Methode von Einengung erlangen will, welche der Regulierung des Gefalles auf den Flüssen, wo sie gebraucht wird, eine so grosse Wichtigkeit, beilegen lässt. Es ist auch diese Nothwendigkeit, welche bald dahinbringt, diese Arbeiten nicht nur auf die Strecke der schlechten Stelle allein zu beschränken, sondern auch diejenigen oberhalb und stromabwärts zu erweitern, und zwar auf die ganze Länge der an die Schwellen anstossenden Auskolkungen, systematisch von Ort zu Ort, von Schwelle zu Schwelle.

Es ist natürlich, zu denken dass alle Theile eines Flusses einigermaßen solidarisch sind, und diese Hindernisse der theilweisen Arbeiten ihrer Vereinzelung zuzuschreiben, und endlich zu glauben, dass wenn man

überall so arbeitete, wie da, wo gute Ergebnisse erhalten wurden, man diese Ergebnisse verallgemeinern würde.

Es ist noch natürlicher, zu sagen, wenn man vom technischen Standpunkt urtheilt, dass, wenn die Wasser unter verschiedenen Gefällen abfließen, dieses von der Verschiedenheit der Längenschnitte abhängt, und dass mit der Regulirung des Längenschnittes man das Gefälle reguliren kann, und zu hoffen, dass man das Fallen des Wasserspiegels, welches aus der Unterdrückung einer Schwelle erfolgt, mit der Aufschwellung ausgleichen wird, welche man oberhalb durch die Erweiterung der Einengungsarbeiten erlangen wird und dadurch, dass man das Wasser der Auskolkung in einem engeren Schnitt mit einem stärkeren Gefälle abfließen lässt.

Diese Meinung würde keine sehr wichtige Einwendung hervorrufen, wenn die Sohle widerstehend wäre; aber da sie beweglich ist, werden die Dinge auf eine bedeutend andere Weise vor sich gehen; die neuen Zustände des Wasserabflusses werden Umgestaltungen der Sohle hervorrufen, und die neue Gestalt welche sie annimmt, wird auch auf die Zustände des Wasserabflusses zurückwirken.

Betrachten wir eine lange zwischen Regulirungswerke gedrückte Flussstrecke. Der erste Zweck dieser Zusammendrängung ist eine Vermehrung des Gefälles und der Tiefe; die Sachen gehen vor sich, wie wenn die Sohle fest wäre. Aber die Gestalt, welche das Flussbett in diesem Moment darbietet, und die Art der Materialien, welche es bilden, sind diejenigen, welche in den vorhergehenden Umständen passend waren und welche in einem gewissen Augenblick des Wasserfallens, das Gleichgewicht zwischen der hinreissenden Gewalt und dem Widerstand der Stromsohle verwirklicht hatten. Dieses Gleichgewicht ist durch die mitgebrachte Umgestaltung in den Zuständen des Wasserabflusses zerbrochen, die hinreissende Gewalt vermehrt sich in dem ganzen Raum der eingeschränkten Strecke, und die Sohle wird angegriffen; da aber das Gefälle sich verändert hat, hat sich die Tiefe oberhalb mehr vermehrt als stromabwärts, die Vermehrung der hinreissenden Gewalt ist daselbst bedeutender, und die Ausspülung kräftiger, die Wasser überlasten sich mit einer grösseren Menge von Materialien, welche sie unvernünftig sind, bis an den Endpunkt der Werke mitzuschleppen, so dass sie dieselben nach und nach ablagern, je nachdem man weiter stromabwärts geht; die Stromsohle spült sich also oberhalb aus und erhöht sich stromabwärts. Diese Umgestaltung wirkt auf den Wasserlängenschnitt zurück, dessen Gefälle vermindert; und diese Wirkung wird fortfahren sich zu erzeugen, bis die Verkleinerung des Gefälles eine hinreichende Verminderung der hinreissenden Gewalt herbeigeführt haben wird, so dass sich ein neuer Gleichgewichtszustand verwirklicht. Wenn, wie es im allgemeinen geschieht, die auf einander folgenden Lagen von Anschwemmungen, welche die Ausspülung entblösst, nicht sehr verschiedene Widerstände anbieten, so wird das Gefälle unter den Werth, welchen es vor den Arbeiten hatte, nieder-

fallen, ein nothwendiger Zustand, um der hinreissenden Gewalt ihren ursprünglichen Werth wieder zu geben, da die Tiefe bedeutender geworden ist, und demzufolge die Wassermenge, welche in jedem Punkt des Flussbettes wirkt, auch grösser geworden ist.

Während also auf einem widerstehenden Boden die Einengung eine Vermehrung des Gefälls erzeugt, hat im Gegentheil auf einem Flusse mit beweglichem Boden die Einengung als Folge eine Verminderung des Gefälls. In dem ganzen Raum der eingeschränkten Strecke, kann man, wenn die Zustände des Entwurfs befriedigend sind, andererseits eine Rinne erlangen, deren Richtung leichter zu verfolgen ist, so wie auch bedeutendere Tiefen; das heisst einen Zusammenhang von Umständen, die günstiger für die Schifffahrt sind; die Verbesserung kann hier um so vollständiger erscheinen, als die erlangte Tiefe oft die Vermuthungen übertrifft, weil ihre Vermehrung zugleich von der Verminderung der Breite, worauf man gezählt hatte, abhängig ist, und auch von der Verminderung des Gefälles, worauf man nicht gezählt hatte.

Diese Veränderung des Gefälles erzeugt sich ausserdem nicht barsch; obgleich bei niedrigem Wasserstande, die Ausspülungswirkung schon empfindbar ist, so ist sie doch wenig bedeutend; sie betont sich nur mit dem Wassersteigen: jedes Hochwasser trägt zu einer Gefällsverminderung bei; da das Gefäll anfangs zugenommen hatte, so kann eine lange Zeit vergehen bevor seine Verminderung schädliche Folgen hervorrufft; aber mit der Zeit wird die Umgestaltung mehr auffallend, und ihre Wirkung wird auf beiden Enden der eingeengten Strecke fühlbar, wo sich Vermehrungen des Gefälles offenbaren.

Die Erfahrung der ehemals auf der Rhône in dieser Art ausgeführten Arbeiten hat manchmal diese Folge der Regulirung durch Einengung anschaulich gemacht; aber obschon sie beobachtet und schon durch eine gewisse Zahl Schriftsteller bezeichnet wurde, so erschien sie nicht überall bekannt zu sein; darum halten wir es für nützlich, ein Beispiel zu geben, welches wir unter den Arbeiten wählen werden die, nur in ihrer Ausdehnung betrachtet, eine gewisse und unbestrittene Verbesserung ergeben haben. Siehe Pl. I.

Zwischen dem Einfluss der Ain und demjenigen der Saône hat die Rhône eine Länge von 35 Kilometer. Die Naturzustände, welchen man auf dieser Strecke vor den Arbeiten begegnete, waren die folgenden: Auf den 10 stromabwärts des Aineinflusses liegenden Kilometern, von diesem Einflusse bis zu der Umgebung des Dorfes „Jons“ waren die Wasser fast ununterbrochen in einem einzelnen, an die Hügel des linken Ufers angelehnten Arme vereinigt, während das rechte Ufer von Ebenen gebildet war, worüber sich die Wassermenge des Hochwassers verbreitete. Auf den 8 oberhalb des Saône-Einflusses liegenden Kilometern, welche den Wasserlauf innerhalb Lyon bilden, waren die Wasser auch in einem Ströme vereinigt. Die Schifffahrt begegnete auf beiden Strecken, wo noch keine Arbeiten ausgeführt waren, gewissen Schwierigkeiten, welche aber ungleich weniger schwer waren, als in der Zwischenstrecke.

In dieser wälzte sich auf einer Länge von 17 Kilometern der Strom in einer Breite, welche an gewissen Punkten bis zu 6 Kilometer betrug und sich in zahlreiche Arme vertheilte; in einigen Querschnitten zählte man bis zu 8 Arme, auf denen der Abfluss der niedrigen Wasser sich in ungleicher Weise vertheilte. Der von der Schifffahrt benutzte Hauptarm versetzte sich bei jedem Hochwasser unaufhörlich um so zu sagen, und sogar fast beständig schon unter der Wirkung der mittleren Wasser, welche hinreichend waren, um stets bewegte und folglich sehr veränderliche Erdarten fortzuziehen. Die Regulirung dieser Stelle wurde nach der Methode unternommen, deren Hauptlinien wir gezeigt haben. Ein erster Entwurf wurde im Jahre 1847 gemacht; die Absicht war, oben den schiffbaren Arm von den falschen Armen durch einen theilenden Damm und durch ein Wehr zu trennen; dieses Wehr war im Angesichte des Dorfes *Thil* in dem bedeutendsten der falschen Arme, aus welchem die anderen entsprossen, anzulegen; dann quer durch die Ebene auf die 17 Kilometer ihrer Ausdehnung eine Rinne zu öffnen, deren normaler Schnitt so berechnet wurde, dass man eine Fahrwassertiefe von 1m,60 bei gewöhnlichem niedrigen Wasserstand erlangte.

Der Entwurf der Rinne, sehr sorgfältig studirt, bot eine Reihe sehr rationeller Krümmungen und Gegenkrümmungen dar; aber die Ausgabe war sehr gross; man musste diesem Entwurf entsagen und einen andern an seine Stelle setzen, welcher, indem er die trennenden Werke und den nämlichen normalen Schnitt bewahrte, diesen Schnitt auf einem weniger kostbaren Entwurf anwandte und den *Miribel* genannten Arm, welcher in jener Zeit durch die Schifffahrt benutzt wurde, regulirte.

Die Arbeiten sind nach diesem Programm ausgeführt und im Jahre 1857 beendet worden; die erlangte Verbesserung war sehr bemerkbar, und die Schifffahrt, anstatt die fortwährenden Ungewissheiten, in welchen die Durchfahrt sie liess, fand in dem Kanal von Miribel eine leicht zu verfolgende Rinne und eine in jeder Zeit hinreichende Tiefe. Während langer Jahre erschien diese Verbesserung das einzige Ergebniss der Arbeiten, und nichts zeigte, dass sie einen störenden Erfolg haben könnten. Indessen war die Kanahsohle angegriffen; die niedrigen Wasser begannen, am Anfange der neuen Rinne immer niedrigere Tiefe als vor den Arbeiten zu zeigen, während sie am Ausgang mehr und mehr grössere Tiefen anzeigten; dann erschien in dem oberen Theil des Kanals die Grundlage der Werke, welche in der Höhe der niedrigen Wasser ausgeführt worden waren: die Grundlage war sogar bei mittleren Sommerwasser entblösst, während stromabwärts die Wasser den Leinpfad überschwemmten, welcher während des grössten Theiles des Jahres unbrauchbar wurde. Es war unvermeidlich, diesem Zustande abzuhelpen, welcher sehr ernst werden könnte; man fing an, den Leinpfad auf der Hälfte, auf welcher er überschwemmt war, zu erhöhen; nachher, um die weitere Umgestaltung zu hindern, fasste man den Entschluss den theilenden Damm beträchtlich niedriger zu

machen und das Wehr von *Thil* so niedrig wie möglich zu machen, so dass man die möglichst grösste Wassermenge durch die falschen Arme, nicht nur beim Hochwasser sondern auch bei den mittlern Wassern, abfliessen liess. Man glaubte auf diese Weise den Hauptarm zu erleichtern und mit der Verminderung der Wassermenge seine Ausspülung einzuhalten. Das gewünschte Ziel ist theilweise erreicht worden; die Veränderung des Längenschnittes ist viel weniger schnell geworden, aber sie hat nicht völlig aufgehört; und obwohl die Wassermenge, welche in den Kanal abläuft, bedeutend weniger geworden ist, ist das Gefäll, welches das Gleichgewicht zwischen den Sohlwiderstand und der hinreisenden Gewalt in den neuen Tiefzuständen verwirklichen soll, noch nicht erreicht.

Der Plan n°. 1 giebt den Grundriss, den Längenschnitt und drei Querschnitte vor der Arbeitsausführung und im jetzigen Zustande an. Der Längenschnitt, in grossem Massstabe, zeigt nur die regulirte Strecke; der Längenschnitt, in kleinem Massstabe, dehnt sich aus von dem Einfluss der *Ain* bis in Lyon und bezeichnet die Vereinigung des alten und des neuen Schnitts an den beiden Enden. Der erste zeigt die mittleren kilometrischen Gefälle; der zweite die mittleren fünf-kilometrischen Gefälle; der Massstab hat nicht erlaubt, ausführlichere Nachweisungen zu machen, aber die wirklichen Schnitte sind noch weit davon entfernt, auf diesen Strecken regelmässige Gefälle zu ergeben und sie deuten, wie alle Schnitte, welche wir die Veranlassung gehabt haben darzustellen, die Treppengestalt an, welche der Grundlängenschnitt ahnen lässt.

Das Ansehen dieser Schnitte, wo zugleich die Oberfläche des Wassers und die Sohle auf der Linie der grössten Tiefen abgebildet sind, genügt um deutlich die Beförderung eines Theiles der Bettmaterialien, von oberhalb bis stromabwärts, die Verminderung des Sohlengefälles und die Verminderung des Oberflächengefälles, welche deren Folge gewesen ist, zu zeigen. Wir werden kurz die Gesammtheit der Ergebnisse, welche diese Arbeiten erzeugt haben, zusammenfassen. Im Kanal selbst hat man eine Richtung, welche leichter zu verfolgen ist, und eine bedeutend grössere Tiefe erlangt. Der Grundriss von 1847 kennzeichnet, dass die Tiefenkurve von 1,20 m. über dem niedrigen Wasser mehrmals unterbrochen ist und dass die Minimaltiefe auf der Fahrrinne 0,80 m. und 0,90 m. ist. Der Grundriss des jetzigen Standes zeigt dagegen, dass die Kurve von 1,40 m. nicht unterbrochen ist; jedoch ist diese Tiefe nicht ganz benutzbar, weil sie sich nicht überall auf eine genügende Breite erstreckt, und weil sie sich nicht in allen Schnitten auf der Linie, welcher die Schifffahrt folgen kann, findet; die Schifffahrt kann nur in der That eine Minimalfahrwassertiefe von 1,20 m.—1,25 m. benutzen, was ausserdem eine sehr bedeutende Verbesserung ausmacht im Vergleich mit dem alten Stand. Die mittlere Tiefe, welche im Kanal besteht, wenn die Wasser den Abfluss erreichen, auf welchem die Berechnungen des

Entwurfs gegründet waren, überschreitet, 1,80 m.; sie ist höher als diejenige, auf welche man zählte, was nicht überraschend ist, da das Gefälle bedeutend geringer ist; die mittlere Tiefe bei niedrigem Wasserstande ist noch 1,50 m., aber sie ist unregelmässig vertheilt; von einem Schnitt zum andern wechselt sie von 1,20 m. zu 2,20 m. ab; was die äussersten Tiefen betrifft, wechseln sie von einem Maximum von 4,70 m. bis zu einem Minimum von 0,50 m. ab, 30 Meter von dem Ufer gemessen. Die Gestalt des Querschnittes ist zuweilen die eines Rechtecks, öfter die eines Dreiecks dessen Gipfel abwechselnd dem einen oder dem anderen Ufer benachbart ist. Endlich verwirklicht der Längenschnitt weder den Werth des vorausbestimmten Gefälles, noch die Einförmigkeit, welche man erhofft hatte. Das mittlere Gefälle auf der ganzen Strecke des Kanals ist 0,696 m. per Kilometer; das kilometrische Gefälle wechselt zwischen 0,41 m. und 1,09 m., und die örtlichen Gefälle zwischen 0,20 m. und 2,20 m. per Kilometer.

Trotz der verwirklichten Verbesserung, trotz der ausserordentlichen Umarbeitung, welche der Fluss ausgeführt hat, indem er zwischen seinen unangreifbaren Ufer wie durch eine Ziehbank floss, hat man also weder die Regelmässigkeit des Querschnitts, noch die Standhaftigkeit der mittleren Tiefen, noch die Gleichförmigkeit des Gefälles erlangt, und das Bett, welches sich geöffnet hat, bleibt wie überall durch eine Reihe von durch Schwellen getrennten Auskolkungen gebildet, während der Längenschnitt eine Reihe von Haltungen mit bezüglich schwachem Gefäll, durch Abstürze getrennt, darbietet.

Ausserhalb des Kanals, hat sich das allgemeine Gefälle vom Einflusse der Ain bis Lyon, bei Kilometer Nr 5, wo die Längenschnitte sich vereinigen, nicht merklich verändert; es war und es ist noch 0,81 m. per Kilometer, aber seine Vertheilung hat sich bedeutend verändert. In der Strecke des Kanals, vom Kilometer 8 bis an Kilometer 25 war es 0,883 m., es ist jetzt noch 0,696 per Kilometer; oberhalb des Kanals, zwischen Kilometer 25 und 34 dagegen, hat es sich von 0,75 m. auf 0,96 m. erhöht und stromabwärts von Kilometer 8 bis bei Kilometer 5, hat es sich von 0,49 m. bis zu 1,06 m. per Kilometer erhöht.

Die Schifffahrt ist in dem Kanal leicht geworden, aber in seinen Enden schwieriger, wo sie ausser sehr bedeutenden Schnelligkeiten auch Tiefen findet, welche beim niedrigen Wasserstande bis unter 0,80 m. absteigen und die Schifffahrt aufhalten, wie sie vorher durch die Schwierigkeiten der Ebene von Miribel aufgehalten wurde.

Es würde natürlich erscheinen, oberhalb und stromabwärts ähnliche Arbeiten wie diejenigen, welche in der Kanalstrecke eine so bemerkenswerthe Verbesserung erzeugt haben, fortzusetzen, und ihre Fortsetzung wird wirklich stromauf unternommen; aber da ähnliche Thatsachen sich in der Folge auf mehreren andern Punkten gezeigt haben, hat man erkennen müssen, dass die Senkung des Gefälles eine unvermeid-

liche und durch die Erfahrung festgestellte Folge der Schnittverengung war; man hat daher nicht auf dem eingeschlagenen Wege beharrt und hat sich, wie wir es weiter oben gesagt haben, vielmehr auf die Arbeiten zugelegt, welche den Schaden mindern oder abstellen konnten, als auf diejenigen, welche ihn einfach auf andere Orte verlegen dürften.

Die Ursachen, welche die Verminderung des Gefälls bewirken, sind in der That von der Länge der eingeengten Strecke unabhängig; die einzige Verschiedenheit, welche zwischen einer langen Regulirung dieser Art und einer Kurzen möglich zu sein scheint, ist, dass die einem ähnlichen Sohlewirren stand entsprechende Gefällsverminderung an beiden Enden einen stärkeren Absturz in der ersten, als in der zweiten Weise erzeugen wird; aber man sieht keine Ursache, welche zu glauben erlaubt, dass die Flusssohle sich besser unter ihrem ursprünglichen Gefäll erhalten wird, wenn man die Tiefe und die Ausspülungskraft des Wassers durch die Verminderung der Breite vermehrt, wenn die Arbeiten eine längere Flussstrecke umfassen, als wenn sie nur auf eine kürzere Strecke beschränkt sind.

Man könnte diesen schweren Nachtheil der Arbeiten nur in dieser Weise abwehren, dass man den Widerstand der Sohle zugleich mit der auf sie wirkenden hinreissenden Gewalt vermehrte. Das ist eine sehr einfache Idee, welche alle Ingenieuren haben sollten, die sich mit dieser Frage beschäftigt haben, und die im Stande waren, die Thatsachen, welche wir bezeichnet haben, zu bemerken; sie ist auf mehreren Flüssen angewandt worden: sogar auf der Rhône ist sie sehr alt.

Die Anwendung von Werken, welche nicht nur auf den Ufern um deren Widerstand zu vermehren oder deren Linie und Ausbreitung zu verändern, angeordnet, sondern auch auf der Flusssohle vorgenommen sind, um ihren Widerstand zu vermehren, ihr Gefälle zu regeln oder zu verändern, wurde schon im Jahre 1842 vorgeschlagen, um die Stromschnellen der *Sault* zu reguliren.

Der Entwurf bestand darin, die Abstürze durch die mit Erhöhung des Gefälles stromabwärts erzeugte Anschwellung zu überschwemmen, und zwar vermittelt einer Reihe von versenkten Sperren oder Grundschwellen; und der Urheber, der Ingenieur Goux, gab mit grosser Klarheit über die Rolle und die Wirkung dieser Werke Erklärungen, welche nichts in ihrem Werth und ihrer Allgemeinheit verloren haben, und welche wir kurz zusammenfassen werden.

Wir wollen voraussetzen, dass man auf einer gewissen Strecke des Flusses ein gegebener Gefäll festzustellen sucht, welches wenig verschieden von denjenigen Gefällen sein wird, die sich natürlich an anderen Punkten dort gebildet haben. Wenn man diese Strecke in gleiche Längen theilt und wenn man in jedem Theilungspunkt eine Sperre oder eine Schwelle ausführt, unter Festsetzung ihrer Oberfläche auf solcher Art, dass die Linie, welche alle Scheitel dieser Schwellen verbindet, das gesuchte Gefälle habe, so werden die Spiegelunterschiede von einer zur andern Schwelle unter-

einander gleich sein. Nennen wir ihren gemeinschaftlichen Werth  $h$ .

Man wird also eine Reihe identischer Haltungen bilden, durch übereinstimmende Sperren getrennt, und wenn der Abfluss derart fällt, dass in jeder Haltung die Schnelligkeit und das Oberflächen-gefälle gleich Null werden, so wird der Spiegelunterschied von zwei nach einander folgenden Haltungen, das heisst der Absturz von einer zur andern, unveränderlich und gleich  $h$  sein.

Wenn jetzt der Abfluss sich vermehrt, so wird in jeder Haltung ein Gefälle entstehen und von einer Haltung zur andern einen von denjenigen, welche zuvor da waren, verschiedenen Absturz verursachen; aber da alle Schwellen sich in ganz ähnlichen Zuständen befinden, werden sich die Biegungen der Wasseroberfläche unter einander identisch erzeugen; die Gefälle in jeder Haltung werden gleich sein, die Abstürze werden auf jeder Schwelle ähnlich sein, und der Wasserspiegel-unterschied zwischen zwei nach einander folgenden Schwellen oder zwei beliebigen Punkten, durch eine dem Zwischenraum der Schwellen gleiche Strecke getrennt, wird unveränderlich und gleich  $h$  sein.

Dieser beständige Spiegelunterschied ist von dem ganzen Gefälle einer Haltung und von dem Absturze einer Haltung zur Folgenden gebildet, so dass man, wenn man dieses Gefälle  $p$ , diesen Absturz  $c$  heisst, hat:

$$h = p + c$$

woraus erfolgt:

1°. Dass der Spiegelunterschied von zwei nach einander folgenden Schwellen die Obergrenze des Absturzes ist, welcher sich von einer zur andern erzeugen kann.

2°. Dass diese Grenzabsturzhöhe nur erlangt wird, wenn der Abfluss so schwach ist, dass das Gefälle  $p$  merklich gleich Null sei.

3°. Dass so bald diese Bedingung aufhört erfüllt zu sein, die Absturzhöhe  $c$  kleiner als  $h$  wird und desto kleiner, als das Gefälle in der Haltung stärker sein wird; so dass wenn der Abfluss hinlänglich wächst, es ein Mal geschehen wird, dass  $p$  gleich  $h$  wird, und dann wird jeder Absturz an den Schwellen verschwinden und wird auch das Wasseroberfläche-Gefälle regelmässig sein, wie wenn das Bett, welches die Schwellenreihe vorstellt, ununterbrochen wäre.

Es ist ausserdem augenscheinlich, dass die gleichweite Entfernung der Schwellen, welche wir angenommen haben, um die Beurtheilung zu vereinfachen, nicht unerlässlich ist, und dass die Abstürze sich verwischen würden, selbst wenn diese Bedingung nicht erfüllt wäre.

Die Erfahrung bekräftigt völlig diese Annahmen und zeigt täglich, dass der Absturz, welcher sich an einer Schwelle erzeugt, wenn der durchlaufende Abfluss schwach ist, bis zum Verschwinden sich vermindert, je nachdem der Abfluss vermehrt. Abstürze von 0,50 m. und noch mehr, wie man oft an festen Wehren bei niedrigem Wasserstand

begegnet, verwischen sich ganz und gar, wenn diese Wehre durch Wasser von 2 bis 3 Meter bedeckt sind. Da aber die Gefälle der Flüsse immer schwach sind, so wird es hinreichend sein, die Schwellen sich passend nähern zu lassen, um die Höhe  $h$ , dass heisst die Maximalhöhe des Absturzes bei sehr niedrigem Abfluss auf einen sehr schwachen Werth zu beschränken, und um folglich versichert zu sein, dass, wenn die Schwellen durch eine Wasserhöhe bedeckt werden, welche derjenigen, die die Schifffahrtbedürfnisse fördern, gleich ist, sie keine wahrnehmbare Wellenbewegung in dem Wasseroberfläche-Längenschnitte mehr verursachen werden.

Diese Wassertiefe, welche hinreichend ist, um die Abstürze zu verwischen, würde es auch sein um jeden anderen Nachtheil zu vermeiden, wenn die Schwellen in Mauerarbeit mit einer vollkommen glatten Oberfläche, wie Schleusenschwellen, ausgeführt sein könnten; dann aber würde die übermässige Ausgabe ihre Anwendung in den meisten Fällen unmöglich machen. Man kan sie nur gebrauchen, wenn sie wenig kosten, und mit den einzigen bekannten wirthschaftlichen Mitteln bleibt ihre Oberfläche unregelmässig; in diesen Zuständen können sie eine Gefahr für die Schiffe werden; sie können auch im Abfluss für die Steuerung schädliche wirbelnde Bewegungen veranlassen, und aus beiden Ursachen verpflichtet die Vorsicht, sie unter einer Wasserhöhe zu halten, welche tiefer ist als der Tiefgang anzeigt, und sie niedriger zu stellen, wenn es nöthig wäre, um das gesuchte Gefälle zu erlangen.

Der Entwurf der Abstürze-Regulirung der *Sault*, wofür sie zum ersten mal vorgeschlagen wurden, ist nicht ausgeführt worden; verschiedene Ursachen haben die Ausführung eines Durchstiches mit Schleusen vorziehen lassen; seitdem aber, hat man auf der Rhône eine sehr häufige Anwendung von getauchten Buhnen gemacht; die Erfahrung hat gezeigt, dass, wenn man ihre Oberfläche wenigstens 2,50 m. unter dem niedrigsten Wasserstand stellte, sie durchaus keinen Nachtheil verursachten. Sie hat jedoch auch gezeigt, dass ihre Anwendung zur Erlangung einer grösseren Regelmässigkeit des Gefälls, welchen Zweck man zuerst, wie in allen ähnlichen Arbeiten, beabsichtigt hatte, nur sehr wenig bedeutende Ergebnisse gibt; aber sie hat zu bestätigen ermöglicht, dass ihre Anwendung sehr wirksam ist, um die Flusssohle zu befestigen und ihre Auskolkung aufzuhalten; sie hat ausserdem erkennen lassen, dass, wenn man sie in gewissen Zuständen ausführt, man andere sehr wichtige Resultate erlangen kann über die wir weiter unten vollständige Erklärungen liefern werden.

Jedoch hat man sich in einer gewissen Zahl von besonderen Fällen versichern können, dass, indem man die Buhnen in dieser Tiefe erhielt, sie eine wahrnehmbare Wirkung auf das Gefälle, und eine leichte Spiegelerhebung erzeugt hatten. Diese Wirkung wurde besonders auffallend, wenn man sie anwandte um den durch ein Hinderniss wie ein altes Werk, eine Felsensperre u. s. w., gestalteten Absturz beizubehalten;

aber es zeigen sich da verschiedene und complexere Zustände als im Wasserablauf auf einer Kiesschwelle. Die Formen der letzten sind immer gelinder, ihre Abhänge oberhalb und sogar stromabwärts werden schwach geneigt, so dass die Tiefen fortschreitend und sehr langsam beiderseits ihrer Oberfläche wachsen. Eine Felsensperre ist im Gegentheil ein scharfes Hinderniss von unveränderlicher Gestalt und Lage, während an seinem Fuss die Sohle ausspülbar ist. Diese Felsensperren sind fast immer von grossen Tiefen gefolgt, so dass die Wasserwelle welche über ihrer Oberfläche steht, scharf und tief taucht, um sich nachher zu erheben; in den meisten Fällen bietet die Wasseroberfläche einen sehr empfindlichen Vorsprung dar, und dieses Phänomen ist besonders empfindbar nach einem engen Durchgang, welcher zwischen zwei Hindernisse, wie Brückenpfeiler, eingeklemmt ist. Durch die Feststellung einer Reihe von Grundschwellen in den Tiefen, welche dem Hinderniss folgen, hält man nicht nur die Vertiefung auf, sondern setzt man auch gegen den tauchenden Bewegung der Welle eine Schranke; man zwingt sie, sich auszubreiten, man schwächt und man hebt sogar den Vorsprung auf, dass heisst die Hauptursache der übermässigen Gefälle. Mehrere wichtigen Verbesserungen sind so unter sehr verschiedenen örtlichen Zuständen ausgeführt worden; wir werden nur einige Beispiele herbeiführen.

Beim Eintritt in Lyon, auf der Rhône, erzeugte ein altes aus Pfählen und Steinen gebautes Werk einen plötzlichen Absturz mit sehr gefährlichen Wasserwirbeln; einige Schwellen haben es ganz unschädlich gemacht und jede unruhige Wasserbewegung benommen. Auf demselben Fluss war in der Nähe von *Bourg St. Andéol* auf einer Felsensperre eine Stromschnelle, welche mächtige Dampfschiffe nur überschreiten konnten, indem sie sich ziehen liessen; die Ausführung einiger Schwellen stromabwärts der Stromschnelle hat den Absturz hinlänglich vermindert, um stark beladenen Schiffen zu erlauben, heute diese Stelle mit ihrer Maschine ohne irgend eine Hülfe, zu überschreiten. Auf der Saône bot die *Ainay*-Brücke, deren Bogen eng und mit Felsengründen überfüllt sind, bei Hochwasser eine für die Schifffahrt sehr schwere Durchfahrt dar; die nämliche Handlungsweise hat ähnliche Ergebnisse gehabt und die Schiffe gehen heute ohne weitere Schwierigkeiten durch die Bogen, welchen sie vorher sich nicht nahen konnten.

Aber abgesehen von diesen ausserordentlichen Fällen üben die Buhnen oder Grundschwellen, welche unter den von der Vorsicht und der Erfahrung vorgeschriebenen Bedingungen ausgeführt sind, nur einen eingeschränkten Einfluss auf das Gefälle aus; und wenn sie in vielen Hinsichten eine Art Werke von einem unstreitigen Nutzen bilden, so dienen sie nicht besser als die anderen Verfahren dazu, die Einförmigkeit des Gefälls zu erlangen.

Wenn übrigens sogar ihre Ausführung zu einer solchen Höhe möglich wäre, dass ihre Wirkung in dieser Hinsicht wirksamer würde,

so möchten sie wohl das Mittel geben, um die Gefälle zu bewahren, sogar um sie da zu heben, wo die Auskolkung des Bettes sie vermindert haben würde; aber sie würden keine Wirkung auf die Veränderungen des Gefälls haben, welche durch die Erhebung der Flussohle verursacht wurden; und um solche Veränderungen zu vermeiden, müsste man so zahlreiche Bedingungen erfüllen, dass in keinem Punkt des Flusses sich irgend eine Ablagerung bilden könnte, was augenscheinlich unmöglich ist.

Sicher, wenn man auf einem Flusse einen für das Wasser und die beförderten Materialien unveränderlichen Abfluss hätte, so wie ein unauspüliges oder wenigstens genug widerstehendes Bett, um nicht durch die Strömung angegriffen zu werden, wie hoch auch der Wasserstand sein möchte, so würde man eine Rinne mit regelmässigen Breiten und Gefällen entwerfen können, in der das Materialienabfliessen niemals geschwächt oder ausgesetzt werden würde, und deren Tiefe unveränderlich fortbestehen würde. Aber so ist es nicht; auf allen Flüssen sind der flüssige Abfluss und der feste Abfluss beständig veränderlich. Jedes Hochwasser führt vom Gebirge herkommende Materialien herbei und hebt bei seinem Durchlauf diejenigen auf, welche das vorhergehende Hochwasser in dem Bett gelassen hat. Diese Materialien werden, so lange die Wassermenge hinreichend ist, fortgezogen; wenn das Wasser niederfällt, so legen sie sich ab, um wieder durch das nachherfolgende Hochwasser mitgenommen und durch aufeinanderfolgende Fortschritten bis in das Meer geschleppt zu werden.

Es gibt in der ganzen Flusswasserbaukunst keine Thatsache, welche besser festgestellt sei, als diejenigen der intermittirenden Bewegung und der Etapenbeförderung der Materialien.

Man kann ja wohl durch Ausführung zweckmässiger Arbeiten an einem oder andern Punkte eine grössere Schnelligkeit als anderswo bewahren, und da einige Umstände beschaffen, welche die Materialien von dannen entfernen; aber die Täuschung, in welche man vielmals gefallen ist, besteht darin: zu glauben, dass wenn man die Regelmässigkeit des Schnittes und des Gefälls verfolgt, man auch die Fortdauer der Materialienbewegung und ihre ununterbrochene und unaufhaltsame Beförderung bis ins Meer erlangen würde.

So dass, wenn man voraussetzte, dass ein künstlicher Kanal von so passender Breite, Gefälle und Widerstand verwirklicht sei, das er ohne Umgestaltung bliebe, und der flüssige Abfluss unter der verlangten Tiefe erfolgte, so würde der verfolgte Zweck aufhören, erreicht zu werden, sobald man in den Kanal mit Materialien überlastetes Wasser einführen würde. Auf den widerstehenden Grund des Bettes würden sich stellenweise Ablagerungen bilden, zwischen denen man ähnliche Phänomene sehen würde, wie diejenigen, welche man auf Flüssen mit vollkommen beweglichem Boden bemerkt; die Hauptverschiedenheit würde darin

bestehen, dass der künstliche Boden mehr als die Andern den Vertiefungen einen ähnlichen Widerstand entgegensetzen würde, wie den, welchen man oft auf den natürlichen Wassern antrifft da, wo ihr Bett unangreifbar ist.

Wie gross auch die Fortschritte sein mögen, welche die Wasserbaukunst machen wird, welche Sicherheit die bekannten oder zu entdeckenden Formeln geben können, welche bei der fortdauernden Bewegung, den Abfluss, das Gefälle und den Schnitt eines Flusses an einander verbinden, so wird immer die Gleichstellung eines Flusses von veränderlichem Abfluss und von beweglicher Sohle, mit einem Kanale von widerstehendem Boden, welcher nur Wasser befördert, Irrthümer ergeben. Sie hat Täuschungen auf der Rhône, wie auf anderen Flüssen erzeugt, und diese Irrthümer sind um so auffallender, als der Fluss, auf welchem man arbeitet, durch seine Verfassung sich weiter von den Zuständen entfernt, in welchen die Formeln der Wasserbaukunst festgestellt worden sind und anwendbar sein würden. Aber indem sie zugleich die Nachtheile dieser sehr oft gezwungenen Gleichstellung zeigte, so stellte die Erfahrung deutlicher die Nothwendigkeit gewisser Thatsachen und gewisser Formen fest; sie liess das Resultat der Werke besser erkennen und führte nach und nach dazu, sie bei Zuständen zu verwenden, welche den Abflussgesetzen in den natürlichen Gewässern gemässer waren. Es verbleibt uns nun, den in dieser Weise auf der Rhône gemachten Versuch, bekannt zu machen.

---

## III.

## Regulierungsarbeiten.

## DIE AUF DER RHONE BEFOLGTE JETZIGE METHODE.

§ 1. *Erklärung der Methode.*

Die Methoden, welche wir kurz dargestellt haben, sind ausschliesslich auf der Rhône vor dem Gesetze von 1878 und während langer Jahre nach der Annahme dieses Gesetzes angewandt worden, welche durch Gewährung beträchtlicher Hilfsmittel für die Regulirung dieses Flusses den Arbeiten die Solidarität und die Einheit zu geben erlaubte, welche die Bedingungen eines günstigen Ausgangs zu sein schienen. Diese grosse Erfahrung hat das Regulirungssystem aufgeben lassen, welches auf die Anwendung eines berechneten, wie wenn das Bett widerstehend und der Abfluss ausschliesslich flüssig wäre, Normalschnitts gegründet ist; sie hat auch dazu geführt, der Einförmigkeit des Gefälles zu entsagen. Und sie hat als ein nothwendiges Gesetz der Wasser- und Materialienbewegung in einem Fluss mit beweglichem Boden die veränderliche und unterbrochene Kiesbewegung, und folglich die Einhaltung der Schwellen und die Bewahrung des Längenschnittes in Treppen, annehmen lassen.

Das verfolgte System hört also auf, von den Wasserbaukunstformeln, welche richtig genug sind für die Umstände, in Angesicht deren sie gebildet wurden, Aufschlüsse zu verlangen, welche in sehr verschiedenen Umständen nicht passend sein können. Weit davon entfernt, die natürlichen Zustände des Abflusses in den Gewässern verändern zu suchen, beachtet es diese Zustände, und anstatt mit der Natur zu kämpfen, sucht es sich aus ihr eine Hülfe zu machen, indem es die Verfahren und Gestalten nachahmt, mit denjenigen jene selbst in gewissen Fällen das beabsichtigte Ergebniss verwirklicht.

Bemerkungen über die natürliche Gestaltung des Flussbettes. — Es ergibt sich aus den im ersten Theil dieses Berichtes enthaltenen Bemerkungen, dass *die Sohle eines Flusses mit beweglichem Boden von einer Reihe mehr oder weniger langen Haltungen, je nach dem Gefälle des Flusses, gebildet ist; diese im Grundriss gekrümmten Haltungen sind bezüglich tief, haben gemässigttes Oberflächengefälle und sind durch Schwellen, wahrhafte natürliche Sperren, getrennt; der Abfluss erzeugt sich von einer zur anderen Auskolkung, wie auf mehr oder weniger eingetauchten Ueberfällen.* Die allgemeinen Einrichtungen bestehen nicht nur auf den Gewässern im Naturstand, sondern sie erzeugen sich auch im Zwischenraum der Regu-

lirungswerke sogar trotz der Arbeiten, welche bestimmt sind, sie verschwinden zu lassen. Man muss sie also beibehalten.

Ihre allgemeinen Eigenthümlichkeiten, wie wir sie bestimmt haben, sind unveränderlich, aber sie wechseln von einem zum andern Punkt durch zahlreiche Einzelheiten. Wenn wir besonders die Flussstrecke betrachten, welche von zwei Auskolkungen durch eine Schwelle getrennt, oder von zwei entgegengesetzten Krümmungen, durch eine Einbiegung getrennt, gebildet ist, eine Strecke, die wir mit dem Namen „Pass“ bezeichnen wollen, so kann man in der Gestalt dieser Pässe zahlreiche Verschiedenheiten erkennen; aber diese Verschiedenheiten können indessen zu zwei Hauptvorbildern zurückgebracht werden.

Vorbild eines nachtheiligen Passes. — Das erste Vorbild (Typus n<sup>o</sup>. 1) findet sich überall, wo der Fluss herumstreift und sogar oft, wenn die Gewässer in einem einzelnen Arm vereinigt sind, wenn die örtlichen Umstände oder die Anwesenheit unvollständiger Werke die Erhaltung der Tiefen auf beiden Ufern begünstigen. Dieser Pass wird durch die folgenden Züge charakterisirt. Siehe Pl. II.

Beide Kehlen liegen übereinander; die schwachen Gefälle verlängern sich auf die ganze Strecke dieser Kehlen; die Rinne geht rasch von einem Ufer zum andern über in einer Richtung, welche sich mehr oder weniger der Normalen auf der allgemeinen Uferichtung nähert. Die Schwelle, welche beide Kehlen trennt, bildet einen sehr schrägen und breiten Ueberfall mit kleiner Wassertiefe, auf dem der Absturz kurz ist; in den Zuständen, welche sich besonders auf die Rhône beziehen, kann die Fahrwassertiefe auf 0,40 m. fallen. In Hinsicht der Schifffahrt sind in solchem Passe alle Schwierigkeiten vereinigt; der Wassertiefemangel, die plötzliche Richtungsveränderung, welche die gewöhnlichen Steuermittel unzulänglich macht und welche zwingt, die Schiffe mit Tauen drehen zu lassen, ohne dass man der Rinne streng folgen und die ganze verfügbare Wassertiefe benutzen kann, endlich eine ausserordentlich heftige Strömung. Die Pässe dieser Art waren ehemals sehr zahlreich auf der Rhône und sie verhinderten die Schifffahrt, sogar bevor das Fahrwasser unter die nothwendige Höhe niederfiel. Die Schifffahrt konnte sie nur bei Wasser von solcher Höhe überschreiten, als nöthig war um einer leichteren Richtung zu folgen und um den Absturz durch grössere Eintauchung des Ueberfalles zu vermindern.

Vorbild eines guten Passes. — Das zweite Vorbild fand sich auch an Punkten, wo man keine Arbeiten ausgeführt hatte, aber fast ausschliesslich da, wo alle Wasser in einem einzelnen Arme vereinigt waren zwischen ziemlich beständigen Ufern. Es ist durch die folgenden Züge charakterisirt:

Beide Kehlen haben ihre Enden entgegengesetzt liegen ohne übereinander zu liegen. Der Thalweg bietet stufenmässige und regelmässige Krümmungen dar; die Abweichung gestaltet sich nach und nach ohne rasche Richtungs-

veränderung; die Schwelle, welche beide Kehlen trennt, hat eine auf der allgemeinen Uferichtung merklich normale Richtung; sie bildet einen stark eingetauchten kurzen Ueberfall, auf dem die Wassertiefe hoch, und der Absturz verlängert ist. In den Zuständen, welche sich besonders auf die Rhône beziehen, verändert sich die Minimal-Wassertiefe auf den Pässen diesen Vorbildes, je nach den Punkten von 1,50 m. zu 2,00 m.; die Richtung der Rinne ist leicht zu verfolgen, und die Strömung ist mässig, sie werden leicht von den Schiffen überfahren.

Uebergang von einem zum andern Vorbild. — Die dafür nothwendigen Arbeiten. — Bei den Regulierungsarbeiten, welche auf der Rhône ausgeführt wurden und jetzt enden, beschränkt man sich darauf, alle Pässe des ersten Vorbildes auf das zweite zurückzuführen, indem man sucht in dem Grundriss, in dem Querschnitt und in dem Längenschnitt die Anordnungen und Gestalten, welche sich auf den natürlich guten Pässen antreffen, zu verwirklichen.

Um dieses Ergebniss zu erreichen, muss man die folgenden Arbeiten ausführen:

- 1°. Alle niedrigen Wasser in einen kleinern Flussbett vereinigen.
- 2°. Die Lage der Tiefen und dadurch diejenige der Schwellen in diesem Bett festlegen.
- 3°. die Richtung der Schwellen ordnen.

Vereinigung der Wasser. — Um die Wasser in einer einzelnen Rinne zu vereinigen, muss man die Nebenarme abschliessen. Die zu diesem Zweck auszuführen Werke sollen eine auf die niedrigen Wasser eingeschränkte Wirkung haben, die einzigen, welche vereinigt werden müssen. Diese Werke sollen den hohen Wassern erlauben, sich auf eine möglichst grosse Oberfläche auszubreiten, so dass ihre Schnelligkeit eingeschränkt und die Ausspülung der Sohle vermieden wird; dazu soll die Sperre, welche den falschen Arm von dem Hauptarm trennt, auf der Höhe, von welcher an die Wasservereinigung nicht mehr nothwendig ist, abgeglichen werden. Um ihre Festigkeit zu sichern und den Wasserantrag zu vermindern, welchen die Sperre im Augenblick des Ueberfalles trägt, — Wasserauftrag, welcher wenig von der Spiegelverschiedenheit in dem Fluss zwischen dem Eintritt und dem Ausgang des falschen Armes verschieden ist, — errichtet man auf der ganzen Länge dieses falschen Armes eine Reihe von Sperren, welche „*Traverses*“ heissen und die den ganzen Absturz theilen und denjenigen, welchen jede Sperre ertragen soll, vermindern; man nimmt also in diesem Arme die Gestaltung eines neuen Bettes vor, dessen Sohle, durch die Reihe der „*Traverses*“ profilirt, zum Spiegel erhöht ist, von welchem an der falsche Arm in Thätigkeit treten und den Hauptarm erleichtern kann.

Endlich muss man, besonders wenn die Richtung des falschen Armes der Richtung der Hochwasserströmung entspricht, die Herstellung der Hauptströmung da vermeiden, aus Gefahr, schwere Störungen in der

Schiffahrtrinne zu verursachen; um dieses Ergebniss zu erreichen, vereinigt man die Hauptsperre, welche das Ufer der Rinne bildet, mit dem Landufer durch Verbindungswerke, welche denjenigen ähnlich sind, die hinter den Dämmen angewandt werden und deren Rolle und Entwurf wir weiter unten zeigen werden.

Befestigung der Tiefen in den gekrümmten Theilen. — Im ersten Theile dieses Berichtes haben wir bemerken lassen, dass wenn die Ufer wirklich festgestellt wären und an gewissen Punkten für die Einhaltung der Tiefen günstige Anordnungen darboten, die Ablagerungen sich in dem Zwischenräume solcher Punkte bildeten. Da die auf einander folgenden Hochwassr vor sich in den nämlichen Punkten die nämlichen widerstehenden Gestalten finden, so erzeugen sie da ähnliche Wirkungen, und ohne den Tiefen gleichbedeutende Gestalten und Ausdehnungen wiederzugeben, führen sie sie wenigstens wieder an die nämlichen Plätze, und bewahren folglich für die Schwellen die gleiche Lagefestigkeit. Die erste zu machende Arbeit ist also, diese Festigkeit durch eine passende Bestimmung der Ufergestalt und der Werke zu sichern, welche man für den Entwurf vornimmt und ihre Erhaltung zu sichern.

Die Erfahrung zeigt, dass die Tiefen sich leicht in den concaven Krümmungen halten, wenn keine störende Wirkung sie entfernt, und dass sie um so grösser und dem Ufer näher sind, als die Kurve schärfer ist. Sie zeigt auch, dass die Tiefen am Fusse der höhen und ebenen Ufer, gegen diejenigen eine Wasserschiefe sich erzeugen kann, sich bilden und erhalten, oder wenigstens längs denen die Schnelligkeit bei allen Wasserständen bedeutend bleibt. Man muss also im Entwurf der Werke eines gekrümmten Theils der Rinne vermeiden, dass diese Wirkungen sich aufwiegen; wenn die beiden Ufer von Dämmen mit steifen und ebenen Wänden gebildet werden, so werden die Wasser zwischen beiden zaudern; es wird da Hang zur Tiefenbeschaffung auf beiden Ufern bleiben und zur Gestaltung einer Ablagerung und eines Passes zwischen beiden nach dem Vorbild No 1. Es könnte sogar geschehen, wenn der Umriss der Ufer unvollständig ist, dass ein zufälliger Umstand die Strömung gegen das convexe Ufer schleudert, wo die Wirkung des Dammes sie festhalten würde, und in diesem Fall würden die Vermuthungen auf dem Irrwege sein; die Windungen der Rinne würden nicht denjenigen der Ufer folgen und die Tiefen würden nicht an den nämlichen Plätzen verweilen: die Beispiele von ähnlichen Thatsachen sind häufig in den ununterbrochenen Eindämmungen. Wenn man also die Festigkeit der Tiefen an dem concaven Ufer sichern will, so ist es nicht hinreichend, diesem Ufer solche Gestalten zu geben, dass es den Thalweg festhalten kann; man muss auch noch das convexe Ufer derweise herstellen, dass es die Strömung weder anziehen noch zurückhalten kann; wir wollen sagen, *dass jeder Dam auf dem convexen Ufer verboten sein soll*; es muss die Gestalt eines Strandes mit schwachem Gefälle haben, wie dasjenige, welches es auf den

guten Pässen des Vorbildes N<sup>o</sup> 2 natürlich darbietet. Diese Gestalt hat ausserdem den Vortheil, den Wassern einen freien Raum zu bieten, je nachdem sie sich erheben, und noch die Wirkung der Zusammendrängung deren unangenehme Folgen für die Gefällhaltung wir gezeigt haben, zu vermeiden.

Entwurf des concaven Ufers. — Es ist im allgemeinen vortheilhaft, ein concaves Ufer durch einen Damm zu schaffen, dessen ununterbrochene Wirkung für die gute Richtung der Strömung und für die Wiederholung der Wirkungen, welche die Tiefen bewahren, günstiger ist. Der Entwurf dieses Dammes hat einen grossen Einfluss auf die gute Richtung des Thalwegs und die Richtung der Schwellen.

Wenn man den Thalweg eines guten Passes untersucht, erkennt man, dass er, indem er dem Ufer im Gipfelpunkt der Krümmung nahe liegt, sich auch von dieser nach und nach entfernt, um beinahe in die Mitte der Ufer, in die Nachbarschaft der Einbiegung zu kommen. Das Ufer muss dann nicht mit dem Thalweg parallel sein, und die Krümmungen seines Entwurfes müssen von der Art sein, dass der Thalweg sich nach und nach davon trennen kann, je nachdem man der Einbiegung nähert. Wenn es anders wäre, wenn die Krümmung des Dammes den Thalweg bis in der Nähe der Einbiegung festhielt, so würde sich auf der entgegengesetzten Krümme des Passes eine ähnliche Wirkung erzeugen, es würde die Abweichung plötzlich sein, und der Pass sich mehr oder weniger dem Typus N<sup>o</sup> 1 nähern.

Und da das Ufer den Thalweg um so stärker anzieht, als seine Krümmung schärfer ist, so muss dann die Krümme vermindern, je nachdem der Thalweg sich von dem Damme entfernt; sie muss also auf eine ununterbrochene Weise von ihrem Maximal-Werth im Gipfelpunkt zu einem Werthe gleich Null in der Einbiegung gehen.

Die auf der Rhône gemachten Beobachtungen bestätigen also völlig diejenigen der Garonne und beweisen klar die Vortheile des Zusammenhanges in dem Entwürfe der Dämme.

Was die Wahl der anzuwendenden Krümmungen betrifft, um diese Bedingung zu verwirklichen, so scheint sie nichts Absolutes zu haben, und die örtlichen Umstände begrenzen oft die Zahl der möglichen Lösungen. Man hat auf der Rhône „Sinusoides“, „spirales-volutes“, wie auf der Garonne angewandt, aber man hat erkannt, dass für Sinkstoffwerke, welche in oft schweren Entwurfs- und Ausführungszuständen ausgeführt wurden, man einen hinreichenden Zusammenhang durch die einfache Anwendung einer Kreisbogenreihe mit zunehmenden Radien vom Gipfelpunkt der Krümmung bis an die Biegung erlangte.

Es ist ausserdem klar, dass für eine Concavität welche sich zwischen zwei Biegungen findet, der gleiche Zusammenhangszustand durch die verschiedenen Krümmungen erfüllt werden muss, welche ihn auf beiden Seiten des Gipfelpunktes bilden.

Aehnliche Betrachtungen bestimmten den Längenschnitt des Dammes. Seine Oberfläche muss auf eine solche Höhe gelegt werden, dass sie die Wasser zurückhält, so lange es von Vortheil ist sie zusammenzuziehen, um die Fahrwassertiefe zu vermehren. Sobald diese Fahrwassertiefe für eine leichte Schifffahrt mit Vollladung hinreichend ist, ist es im Gegentheil rathsam, die Wasser sich auf eine möglichst grosse Oberfläche ausströmen zu lassen, so dass man eine übermässige Auskolkung vermeidet, welche für die Erhaltung des Gefälles und der Breite der Rinne nachtheilig ist. Bei den Rhône-Zuständen soll diese Höhe nicht mehr als ungefähr 1,00 m. über den niedrigen Wassern steigen; man führt sie oft in grösserer Höhe aus, sei es, um die Gestaltung der Tiefen in der ersten Zeit der Arbeiten zu erleichtern, sei es bloss um eine grössere Leichtigkeit in der Ausführung zu erlangen, und man führt sie dann an die oben gezeichnete Höhe zurück. Aber diese Höhe muss nicht dieselbe auf der ganzen Strecke des Dammes sein. Da die Tiefen um so grösser und dieselben dem Ufer um so näher sind als es selbst höher ist, so muss man, um die Rinne von ihm zu trennen, die Wirkung des Dammes nach und nach vermindern, je nachdem man sich der Abweichung nähert; und zur selben Zeit dass man die Krümme vermindert, macht man die Oberfläche des Dammes niedriger, je nachdem man sich von dem Gipfelpunkt entfernt. In diesem Gipfelpunkt soll der Damm seine Maximal-Höhe darbieten und auf beiden Seiten fällt er bis auf die Höhe des natürlichen Ufers in der Nähe jeder Biegung. Man kommt also durch ähnliche Beweggründe dazu, den Zusammenhang und nicht die Einförmigkeit in dem Längenschnitt des Dammes festzustellen, wie man dazu geführt wurde, sie in seinen Grundrissentwurf einzuführen.

Solange der Wasserspiegel niedrig bleibt, versteht man leicht die Rolle des Dammes; aber wenn die Wasser den Damm übersteigen, und man sich damit begnügt hatte, so würden sich ganz schädliche Wirkungen erzeugen. Die Wasser würden durch ihr Ergiessen jenseits des Dammes seinen Fuss ausspülen; man würde Gefahr laufen, denselben weggerissen zu sehen, und man würde auch zu befürchten haben, dass neue Nebenströmungen hinter dem Damme sich schüfen, welche eine neue Rinne öffnen könnten; endlich könnten die Schiffe durch eine Querströmung auf die Dämme gezogen und zerschmettert werden. Um sich gegen diese Folgen zu schützen, verbindet man den Damm mit dem Ufer durch Querwerke, welche man „*Traverses*“, „*Tenons*“, oder „*Rattachements*“ nennt.

Diese Werke sind, vom Landufer an, gegen den oberen Strom gerichtet und sie steigen schief von diesem Ufer bis zum Damm, so dass die vereinigten Wirkungen ihres Gefälles und ihrer Richtung übereinstimmen, um die Strömung auf die Achse der Hauptrinne zurück zu führen und sich der Gestaltung von Nebenströmen und dem Ueberströmen der Wasser zu widersetzen.

Ihr Einfluss muss um so wichtiger sein, als die Wirkung, welche sie bekämpfen sollen, auffallender ist, und folglich muss ihr Längengefäll gegen die Rinne um so stärker sein, als die Wasser gewaltsamer streben, aus der Rinne zu gehen. An den Punkten, wo die Krümmung ihr Maximum erreicht, nimmt die Centrifugalkraft ihren grössten Werth an; dort wird also das Gefälle der „Traverses“ am stärksten sein. Die „Traverses“ einer Gruppe, welche sich alle bis an den Damm zur nämlichen Höhe, die er selbst am Begegnungspunkte hat, erstrecken, werden also mit verschiedenen Länge-Gefällen entworfen und erhöhen sich um so schneller von dem Damm an, als sie ihrem Gipfelpunkt näher liegen.

In den Strecken des Flusses, wo das Gefälle schwach, und die Krümmung der Rinne wenig ausgesprochen ist, kann man die Gesammtheit der Arbeiten vereinfachen, den Damm weglassen und sich mit den einzelnen Zusammenhangswerken für die Wasserrichtung begnügen; aber ihre leitende Wirkung ist weniger wirksam, und die Umstände, in welchen man so vorgehen kann, sind auf der Rhône sehr selten.

Entwurf des convexen Ufers. — Wir haben darauf aufmerksam gemacht, wie es wichtig wäre, um die Lagefestigkeit der Tiefen zu sichern, jedes Werk oder jede Gestalt, welche die Auskolkung fördern könnte, auf dem convexen Ufer zu vermeiden.

Dieses Ufer soll die Anordnungen darstellen, welche man natürlich in den guten Pässen antrifft, das heisst diejenigen eines Ufers mit schwachem Gefälle, so dass die Wasser sich nach und nach ausbreiten könnten, ohne irgendwo eine hinreichende Schnelligkeit anzunehmen, um Auskolkungen zu erzeugen. Wenn das Ufer besteht und einen ziemlichen Widerstand bietet, giebt's nichts zu schaffen; aber wenn der Widerstand zu schwach ist, so befestigt man es durch Herstellung *tauchender Bühnen* ohne Hervorragung auf der natürliche Sohle, welche um so zu sagen, das Sohlengerippe bilden und ihm die mangelnde Festigkeit geben. Wenn das Ufer nicht besteht, so bildet man ähnlicher Weise sein Sohlengerippe mittelst *tauchender Bühnen*, welche dessen Gestalt zeichnen, die Wasser richten, wie das Ufer es selbst machen würde, und welche seine Entstehung fördern. Die Richtung dieser Bühnen soll so sein, dass sie die Hauptströmung auf die Thalwegslinie zurückwirft; ihr Gefäll soll geregelt werden, um den nämlichen Zweck zu erreichen; sie sollen also eine um so bedeutendere Wirkung erzeugen, als der Thalweg sich mehr von dem convexen Ufer entfernen muss. Die Bühne, welche dem Punkt, wo die Krümmung am grössten ist, entspricht, ist also diejenige, deren Schräge die stärkste sein muss, und auf beiden Seiten dieses Maximums soll die Schräge der Bühnen vermindern bis sie ihren kleinsten Werth in der Nähe der Biegung erreicht.

Lage der Biegung — Festigkeit der Schwelle. — Die verfolgten Regeln, um die Rinne in einem gekrümmten Theil festzuhalten, können in wenigen Worten zusammengefasst werden: was das concave

Ufer betrifft, muss man die für die Gestaltung und Erhaltung der Tiefen günstigsten Gestalten und Werke annehmen; dagegen sind diese Sachen für das convexe Ufer gerade zu vermeiden; man muss ihm die Gestalt geben, welche am wenigsten fähig ist, diese Wirkungen zu erzeugen, und es ist nöthig, es zu befestigen, um seine Ausspülung zu verhindern. Wenn man sich nach diesen Regeln richtet, so gelangt man dazu, die Tiefengestaltung auf dem convexen Ufer zu vermeiden und ihre Erhaltung in dem concaven Henkel zu versichern, wo sie sich nach jedem Hochwasser-durchlauf wieder finden.

Wenn ähnliche Anordnungen für alle gekrümmten Theile der Rinne angenommen sind, so wird die Lage aller Auskolkungen fest bleiben; so dass, wenn man die Erhaltung der Tiefen längs den concaven Ufer erreicht, man zugleich die periodische Wiederkehr der Ablagerungen in der Nähe der Biegung, welche zwei entgegengesetzte Concavitäten vereinigt, hervorruft.

Um den Uferentwurf zu vervollständigen, verbleibt also nur, die Lage der Biegungen zu bestimmen, zwischen deren man die Krümmungen derartig vertheilen muss, dass man zugleich die örtlichen Erfordernisse und die Continuitätsbedingung, deren Nützlichkeit wir gezeigt haben, befriedigt. Diese Lage dürfte nicht willkürlich sein; die Biegungen sind wirklich die Etapen, wo die Materialien stehen bleiben müssen, wenn der Wasserniederfall ihren Ablauf aufhält. Es ist klar, dass man nicht ganz frei ist, die Etapen nach Belieben anzuordnen und dass man ihre Zahl nicht zu sehr vermehren oder vermindern kann, ohne Unannehmlichkeiten und Täuschungen zu bewirken. Die Strecke, welche zwei Ablagerungen trennt, ist wesentlich von der Verfassung des Flusses, von dem Abfluss seiner Wasser, von seinem Gefälle, von der Menge und der Natur der mitgeschleppten Materialien abhängig; diese Zustände verändern sich nicht nur von einem Fluss zum andern, sondern auch von einer Gegend zur andern auf demselben Fluss; ihr Einfluss auf die Vertheilung der Ablagerungen ist gewiss sehr stark, und wollte man, *à priori*, den Zwischenraum der Schwellen in Funktion dieser Elemente bestimmen, so würde man dazu gelangen, willkürliche Voraussetzungen zu formuliren und Schlüsse zu ziehen, welche sich nicht bestätigen könnten.

Aber die Beobachtung von dem, was auf einer bestimmten Flusstrecke vorgeht, liefert glücklicherweise hinreichende Nachweisungen für die Praxis; sie erlaubt zu erkennen, dass, wenn die Abfluss- und Gefällezustände wenig verschieden sind, die Strecke zwischen zwei Schwellen in Grenzen bleibt, welche nicht weit von einander entfernt sind. Zwischen diesen Grenzen ist es zweckmässig, den Zwischenraum der Biegungen beizubehalten, indem man sich nach den guten Pässen und den örtlichen Umständen richtet, so dass man beinahe die Zahl der Schwellen bewahrt, welche sich natürlich bilden, oder, wenn man dazu geführt wird, diese Zahl ein wenig zu verändern, man sie eher vermehrt, als vermindert; da jede Schwelle einem Absturz des Wasserschnitts entspricht, so vermindert sich ihre Höhe, wenn ihre Zahl zunimmt.

So ist die Gesammtheit der Bedingungen, welche in Beziehung auf den Zwischenraum der Biegungen, die Anlegung der Krümmungen, die Wahl der Werke, deren Höhe, Richtung und Gefälle zu erfüllen sind. In den oft sehr engen Grenzen der örtlichen Umstände bestimmen sie auf eine hinlänglich genaue Weise den Entwurf und die Gestalt der Ufer, und sichern zu gleicher Zeit die periodische Wiederkehr der Tiefen und der Schwellen an den ähnlichen Stellen.

Richtung der Schwellen. — Es kann selbst sehr oft geschehen, dass ein guter Entwurf und die verständige Wahl der Werke hinreichen, um die Rinne gut zu leiten, um den Durchgang von einer Concavität zur andern nach einer fortschreitenden und leichten Biegung zu schaffen und endlich der Schwelle solche Richtung und Gestalt zu geben, dass sie eine hinreichende Wassertiefe darbietet und leicht von den Schiffen überfahren werden kann. Der Zusammenhang in der Krümmung, in der Höhe und in dem Gefälle der Werke übt in der That einen gewissen Einfluss auf die gute Richtung der Rinne aus.

Aber man begreift leicht, dass diese Wirkung, wie nützlich sie sei, unzureichend sein kann. Die Krümmung wirkt auf die Lage der Rinne wegen der Querströmung und der Auskolkung, welche deren Folgen sind; die Höhe der Werke wirkt ähnlicher Weise; die erzeugte Wirkung ist wohl immer in der nämlichen Richtung: wir wollen sagen, dass die Tiefen, unter übrigens gleichen Bedingungen, immer um so ausgesprochener, dem Ufer um so näher sind, als dieses selbst gekrümmter, einheitlicher, steifer und höher ist; aber die Grösse dieser Wirkung ist von einer Gesammtheit veränderlicher Umstände abhängig; in erster Reihe muss man das Gefälle des Flusses und den Widerstand seiner Sohle stellen, welche von einem zum andern Punkt verändern; so dass zwei in ihrem Entwurfe und in ihrer Höhe ähnliche Werke je nach der Stelle, wo sie gebraucht werden, sehr verschiedene Gestalten in der Rinne verursachen können.

Wenn man in der That zwei Pässe voraussetzt, in welchen die örtlichen Nothwendigkeiten dazu Veranlassung geben, die nämlichen Krümmungen zu verwenden, so ist es klar, dass, wenn die eine sich mit starkem Gefälle auf einer sehr lockeren Sohle, und die andere mit schwachem Gefälle auf einer widerstehenderen Sohle findet, die erzeugten Wirkungen nicht die ähnlichen sein werden. Auf der letzteren wird man im allgemeinen eine breite Rinne finden, deren Thalweg ohne ausserordentliche Tiefen sich in einer hinreichenden Entfernung von dem Ufer erhalten wird, um leicht durch die Schiffe verfolgt werden zu können und welcher sich von dem Ufer entfernen wird, um nach einer langen und leichten Biegung auf das entgegengesetzte Ufer zu gehen; die Gestalten werden sich denjenigen des Typus N<sup>r</sup>. 2 nähern, und die gute Richtung der Schwelle wird da eine hinreichende Wassertiefe auf einem glatten und leicht überschreitbaren Absturz bewahren. Auf der anderen Sohle dagegen wird die Schnelligkeit bedeutender, die Auskolkung schärfer, die Rinne enger, der Thalweg

tiefer und dem Ufer näher sein; er wird sich da länger erhalten und wird sich schwerlich von ihm trennen, um darauf nach einer kurzen und scharfen Biegung auf das entgegengesetzte Ufer zu gehen; die Gestalten werden sich denjenigen des Typus N<sup>o</sup>. 1 nähern, die Richtung der Schwelle wird sehr schräg, die Wassertiefe schwach, der Absturz stark und die Richtung des Thalwegs schwierig oder unmöglich zu verfolgen sein.

Der Entwurf der Ufer, welcher hinreichend ist, um die Schwellengestaltung immer auf die nämliche Stelle zurückzuführen, ist also nicht hinreichend um ihre Gestalt zu reguliren, und denselben eine gute Richtung zu geben. Und man muss in vielen Fällen seine Wirkung durch diejenige von Werken vervollständigen, welche besonders dazu bestimmt sind, die Abweichung zu leiten und den graduirten Durchgang von einer concaven zu einer gegenconcaven Gestalt um zu biegen. Die Vergleichung der vortheiligen und der nachtheiligen Pässe lehrt, was man machen soll. In einem vortheiligen Passe sind die Tiefen nicht übermässig, und die Rinne ist breit; der Thalweg, welcher immer vom Ufer entfernt genug ist, macht sich von ihm nach und nach los, während die Tiefe allmählich vermindert, je nachdem man der Biegung sich nähert.

Wenn man die Gestalt des Querschnittes betrachtet, welche immer mehr oder weniger derjenigen eines Dreieckes ähnlich ist, dessen Gipfel dem Thalweg und dessen Basis dem Wasserspiegel entspricht, erkennt man, dass die Basis breit und die Höhe mässig ist; der Gipfel bleibt immer von dem concaven Ufer weit genug entfernt, und die Abschüssigkeit der Seiten, stärker gegen dieses Ufer, entspricht für beide ziemlich schwachem Gefälle. Dieser Schnitt verkrümmt sich stufenmässig: die Höhe vermindert, je nachdem der Gipfel sich von dem Ufer entfernt; die Abschüssigkeit der beiden Seiten vermindert zugleich, aber schneller auf der concaven Seite, so dass sie den ähnlichen Werth auf beiden Ufern in der Nähe der Biegung besitzt. Auf der anderen Seite dieser Biegung erzeugen sich in der ähnlichen Ordnung symetrische Gestalten.

In einem nachtheiligen Passe ist im Gegentheil die Rinne eng, und die Tiefe in der Nähe des concaven Ufers bedeutend; der Thalweg bleibt sehr nahe von diesem Ufer und trennt sich schwerlich davon, um plötzlich auf das Andere zu gehen; die Tiefen erhalten sich bis in die Nähe der Biegung, um plötzlich aufzuhören, und auf der anderen Seite wieder zu erscheinen. Der Querschnitt hat zwar immer die allgemeine Gestalt eines Dreiecks; aber die Basis ist eng und die Höhe bedeutend. Sein Gipfel ist sehr nahe am concaven Ufer, sogar oft am Fusse desselben und die Abschüssigkeit beider Seiten ist sehr stark. Dieser Schnitt erhält sich ohne bemerkenswerthe Veränderung bis in die Nähe der Biegung, und daran vorüber findet man ohne Uebergang wieder symetrische Gestalten.

Um die vortheilhafte Schwellenrichtung zu erlangen, muss man also den fehlerhaften Gestalten, welche der Querschnitt in diesen nachtheiligen

Pässen darbietet, die rationellen Gestalten, welche er natürlich in den vortheilhaften Stellen annimmt, unterschieben. Man erlangt dieses Ergebniss durch die Umbildung, in gewissen Entfernungen, dieses Querschnittes mittelst *getauchter Buhnen*, das sind Quersperren in der Tiefe niedrig genug angebracht, dass sie die Schifffahrt nicht behindern und auf der Oberfläche keine Störung verursachen. Diese Buhnen rufen die Verbreiterung der Rinne durch das Hinwegnehmen eines Theiles der Tiefe hervor. Sie müssen vom Ufer aus gegen den Oberstrom gerichtet werden, da sie den Zweck haben, die Strömung von denselben zu entfernen: aus derselben Ursache sollen sie von dem Ufer an ein Gefälle haben, und ihr niedrigster Punkt, welcher die Maximaltiefe bestimmt, bestimmt auch zugleich die Lage der grössten Schnelligkeiten und der Achse der Rinne. Diese Achse muss dem Ufer um so näher sein, als der betrachtete Punkt dem Gipfelpunkt der Krümmung näher ist; die grössten Tiefen müssen sich auch in der Nähe der grössten Krümmungen befinden (ein wenig stromabwärts nach der allgemeinen Beobachtung): die diesem Punkt entsprechende Buhne wird also niedrigere Einwurzelung, stärkeres Gefälle und ein tieferes Fluss-Ende als die andern haben. Die folgenden Buhnen werden sich nach und nach erhöhen und ihr Gefälle wird vermindern, je nachdem sie sich von dem Gipfelpunkt der Krümmung weiter entfernen. Die allmählichen Buhnen werden also wirklich die Zeugelinien einer schiefen Oberfläche ausmachen, welche sich durch allmähliche Abstufungen bis an die mittlere Gestalt verkrümmt, welche an der Biegung bestehen muss um weiter hin umgekehrte Anordnungen darzubieten.

Man kommt also, nachdem man den *Zusammenhang* in dem Grundriss der Rinne, in dem Schnitt, in der Höhe und im Gefälle der Uferwerke verwirklicht hat, dazu, auch den *Zusammenhang* in dem Längenschnitt der Sohle und in der Gestalt des Querschnittes zu sichern.

Die so angewandten eingetauchten Buhnen leisten dann eine doppelten Dienst. Sie richten die Biegung und verhindern die übermässige Ausspülung des Flussbettes auf beiden Seiten dieser Biegung. Indem sie die Erhaltung der Schwellen sichern, indem sie die Tiefen in den Auskolkungen beschränken, erhalten sie die Abstürze und die Treppengestalt des Längenschnittes, und widersetzen sich dem Fallen des Wasserspiegels, das heisst der unangenehmen Wirkung, welche wir bezeichnet haben und die sich so oft in den Regulierungsarbeiten durch Einengung erzeugt. Aber indem sie zugleich die Richtung dieser Schwellen ordnen, verlängern sie, ohne sie zu vernichten, die Abstürze, welche sie übersteigen, und machen sie leicht überschreitbar.

Die Tiefe, worin, in Anbetracht der möglichen Unvollkommenheiten ihrer Ausführung, die Sicherheit der Schifffahrt zwingt, diese Werke anzulegen, beschränkt ihre Wirkung auf die Gefälle, und diese Wirkung beschränkt sich im allgemeinen darauf, dieselben zu erhalten, indem man

die Ausspülung des Flussbettes, welche ihre Verminderung verursachen würde, verhindert. Die Erfahrung hat jedoch in einigen besonderen Fällen gezeigt, dass es möglich war, leichte Erhebungen des Wasserspiegels über den Auskolkungen zu erlangen, und es ist klar, dass diese Wirkung, um so hervortretender ist, als es möglich wird, die Oberfläche der Buhnen mehr zu erhöhen.

Ein solches Ergebniss wäre nützlich wenn, zufällig und aus Mangel an vorhergehenden Vorsichtmassregeln, sich schädliches Fallen eingestellt hätte; es würde unnützlich sein, wie wir es weiter oben gezeigt haben, und würde nicht die ausserordentlichen Ausgaben rechtfertigen, welche es veranlassen würde, wenn man den unmöglich zu erreichenden Zweck der Einförmigung der Gefälle verfolgen würde. Ihre einfache Erhaltung ist im Gegentheil ein mögliches und ganz hinreichendes Ergebniss, und die ohne ausserordentliche Vorsichtmassregeln ausgeführten getauchten Buhnen erlauben, es sicher zu erreichen. Man geht oft weiter in der Sohlenbefestigung, wenn diese sehr locker ist, und man befestigt die Sohle auf der ganzen Breite durch die Verlängerung der Buhnen von einem Ufer zum andern; sie heissen dann Grundschwellen und sind sparrenartig angelegt, mit der Spitze gegen den Oberstrom gewandt und auf die Achse der Rinne gestellt, deren Lage sie befestigen, indem sie da das Maximum der Tiefen bestimmen.

Wenn aber die Tiefe in der es zweckmässig ist, die Buhnen anzulegen, ihre Wirkung auf die Oberflächengefälle beschränkt, so übt sie nur wenigen Einfluss auf deren leitende Wirkung aus. Diese Wirkung ist in der That besonders von der Buhnenrichtung, von der Neigung jeder Buhne und von der Verschiedenheit der Buhnen untereinander abhängig: diese Umstände genügen, um die Vertheilung der Schnelligkeiten in der Breite des Querschnittes und folglich die Anordnung und die Gestalt der Ablagerungen zu bestimmen. Aber es ist auch klar, dass diese leitende Wirkung um so kräftiger sein wird, als die Neigung der Werke, durch welche sie sich verwirklicht, besser geordnet sein wird, und auf diesem Punkt soll besonders alle Sorge beim Bau verwandt werden, welche sehr leicht und wenig kostbar ist.

Abfluss des Kieses. Bezügliche Beständigkeit der Gestalten und der Tiefen. — Folgendes ist die Gesammtheit der auf der Rhône seit 1884 verfolgten Regeln und angenommenen Werke.

Die Wahl der angewandten Werke für den Entwurf der Ufer in den gekrümmten Theilen des Flussbettes hat als Ergebniss die Festigkeit der Rinne und die Erhaltung der Tiefen daselbst zu sichern, die gute Richtung der Biegung vorzubereiten und zu erleichtern. Der Entwurf des Querschnittes durch getauchte Buhnen vollendet diese leitende Wirkung und versichert zugleich eine hinreichende Breite der Rinne und den Zusammenhang der Tiefen, wie auch den Widerstand der Stromsohle, die Erhaltung und die gute Richtung der Schwellen.

Man sucht also nicht mehr, dem Fluss die Gestalt eines künstlichen Kanals zu geben und in dem Längenschnitt und in dem Querschnitt eine Einförmigkeit, wovon die Natur kein Beispiel anbietet, zu erlangen; man bewahrt im Gegentheil die natürlichen Gestalten, welche ein Fluss unter der Wirkung der Gesetze annimmt, welche den Materialien- und Wasserabfluss bestimmen, aber man bestrebt sich, Zusammenhang in die Veränderung dieser Gestalten zu bringen. Man lässt sie also keine wichtige Umgestaltung erleiden und man beschränkt sich darauf, sie nach dem Beispiel derjenigen, welche von der Natur vortheilhaft gebildet sind, zu reguliren, und den zufälligen und durchaus nicht nothwendigen Ursachen der für die Schifffahrt unbequemen Unregelmässigkeiten, zweckmässig vertheilte Widerstände, unterzuschieben, welche die dauernden Ursachen der periodischen Rückkehr der für sie günstigsten Zustände sind.

Die Ufer des Flusses bleiben buchtig und ihr Entwurf entfernt sich so wenig wie möglich von demjenigen, welchen er sich selbst gebildet hat, aber der Zusammenhang ist in die Folge der Krümmungen eingeführt. Das Flussbett bleibt von einer Reihe von Auskolkungen, durch Schwellen getrennt, gebildet; aber der Uebergang von den tiefen Theilen auf die hervorragenden Theile wird durch ununterbrochenen Abstufungen veranstaltet. Der Längenschnitt der niedrigen Wasser bewahrt die zerbrochene Gestalt, er bleibt von einer Reihe von Haltungen mit schwachem Gefälle, und durch Abstürze getrennt, gebildet; aber das Gefälle der Haltungen wird durch die Befestigung der Sohle gestützt, und die Steifheit der Abstürze durch die gute Richtung der Schwellen gemässigt.

Hochwasser verändert die Gestalt des Flussbettes, wie dasselbe es auf einer natürlichen Wasserstrasse thun würde; es spült das Bett an gewissen Punkten aus und füllt es an anderen auf; aber diese Umgestaltungen sind durch den grösseren Widerstand der Sohle und der Ufer in engeren Grenzen gehalten, und die Zufälle, welche sie entscheidend machen könnten, sind aufgehoben. Je nachdem die Wasser sich erhöhen, übersteigen sie die Werke, welche das Sommerbett bilden und breiten sich ohne die tiefen Störungen zu verursachen, welche sie in einem verengten Bett erzeugen, aus; aber indem sie sich ausbreiten, begegnen sie auf dem convexen Ufer, um sie zu leiten, den Werken, welche dieses Ufer befestigen, und auf dem concaven Ufer die Werke, welche dieses an der unüberschwembaren Böschung festhalten.

Diese Werke dirigiren, ohne sich gegen ihre Ausbreitung und ihren Abfluss zu widersetzen, dieselben Wasser fortschreitend und, durch ihre übereinstimmenden Wirkungen werfen sie wieder die Hauptströmung auf die Linie der grössten Tiefen, in die nämliche Lage, welcher sie beim niedrigen Wasserstande folgt; sie sichern also die Lagefestigkeit des Thalweges. Wenn das Wasser fällt und wieder in das Sommerbett tritt, findet es eine Gesammtheit von Zuständen, welche die Rückkehr der Tiefen und der Schwellen in die Lagen verursachen, welche sie vor dem Hochwasser

hatten, und welche die Wiederzeugung ähnlicher Gestalten, wie diejenigen, welche vor dem Durchlauf des Hochwassers bestanden, bewirken. Die fortgetragenen Stoffe fahren also fort in allmählichen Beförderungen, durch Etappen getrennt, abzufliessen; aber die Lage dieser Etappen ist zum Voraus bestimmt; der Kies kann sich nicht in den Krümmungen aufhalten, wo alles angeordnet worden ist um die Erhaltung der Tiefen zu begünstigen, und er kann sich nur in der Biegung ablagern, welche zwei Krümmungen im entgegengesetzten Sinne trennt; aber da findet sich zum Voraus eine ganze Reihe regulirenden Werke für die Gestalt des Flussbettes und die Vertheilung der Schnelligkeiten, welche, ohne der Ablagerung Hindernisse zu bringen, ihre Gestalt und ihre Richtung bestimmen.

Die Tiefe, welche nach dem Ablauf jedes Hochwassers auf den Schwellen besteht, ist beständig veränderlich und von den Umständen des Hochwassers und der fortgetragenen Materialmenge abhängig; unbeständige Ursachen können keine standhaften Wirkungen haben.

Die Tiefe aber ist immer die grösste, welche sich aus den Zuständen ergeben kann, in denen die Schwelle sich gebildet hat und welche die Flussverfassung mit sich bringt, denn ihr Maximum entspricht unveränderlich der guten Richtung der Schwellen. Die Verbesserung, welche man verwirklichen kann, hat also nicht die bestimmte Eigenheit derjenigen, welche man durch die Kanalisirung mittelst beweglicher Wehre erlangen kann, oder die man oftmals durch die Methode der Einengung zu erreichen sucht; diese Verbesserung ist jedoch sehr bedeutend, denn die Verschiedenheit, welche zwischen der Wassertiefe auf gut oder schlecht gerichteten Schwellen besteht, ist immer sehr gross. Auf der Rhône besonders hat die Erfahrung gezeigt, dass auf Stellen, deren Umbildung vollkommen war, die Wassertiefe stets hinreichend bleibt, um in jeder Zeit eine leichte und regelmässige Schifffahrt zu ermöglichen.

Ausführungsart der Werke. — Wenn die verständige Wahl des Entwurfes und der Werke eine wesentliche Bedingung des Erfolges ist, können auch die in der Ausführung verfolgte Ordnung und die verwandte Aufmerksamkeit einen wichtigen Einfluss auf das Ergebniss ausüben. Jeder plötzliche Widerstand, jede gewaltige und einzelne Hervorragung ruft Wasserwirbel und Ausspülungen hervor. Es ist also nöthig, überall die Gestalten der Werke sanft verlaufen zu lassen, die Böschung der Dämme mit den Sohlegefällen durch eine Rissbank zu vereinigen, die Böschung der getauchten Buhnen durch eine mehr oder weniger lange Überziehung je nach ihrer Hervorragung zu verlängern, ihre Neigung aufzurichten und ihren Schnitt in der Nähe des Dammes zu verbreitern, um den Uebergang zwischen den Gestalten beider Werke zu mässigen, und aus dem nämlichen Grunde, ihr Gefälle in den Punkten wo sie die Sohle wieder einholen, zu schwächen.

Man soll nach und nach durch abgestufte und allmähliche Veränderungen zu den Abänderungen der Rinne übergehen, zuerst die Werke

mit einer leichten Hervorragung entwerfen, sie so viel wie möglich reihenweise ausführen, denn ihre Wirkungen ergänzen oder begrenzen sich gegenseitig; alsdann muss man nach einer ersten Anlage aussetzen, den Fluss wirken lassen und nachher wieder anfangen. Nicht nur vermeidet man so die Störungen, welche die hervorstehenden Werke bewirken, und die Ausspülungen, welche man ausfüllen müsste, sondern man benutzt im Gegentheil auch die abgelagerten Geschiebmassen, welche sich gewöhnlich rings um die Werke mit schwachen Hervorragungen und mässigen Gestalten sammeln, und man führt sie mit einer sehr wichtigen Ersparniss auf ihre definitive Höhe.

Man kann endlich nach und nach die erzeugten Wirkungen beurtheilen, die vorgenommenen Einrichtungen berichtigen, wenn es nöthig ist, und mit mehr Sicherheit das gewünschte Ergebniss erlangen.

Die Regeln, welche bei dem Entwurf und der Wahl der Werke vorwalten, sind also einigermassen für ihre Ausführung anwendbar; und wenn es in dem Entwurf wichtig ist, den Zusammenhang im Grundriss, den Längenschnitt und den Querschnitt zu betrachten, so ist es nicht weniger wichtig, sich in der Ausführung nach der Zusammenhangsordnung zu richten, und die nämlichen Abstufungen in den allmählichen Umgestaltungen, welche zur entscheidenden Gestalt führen sollen, zu beobachten.

Der Erfolg dieser fortschreitenden und vorsichtigen Methode und die Grossartigkeit der Erfahrung erlauben daraus eine nützliche Lehre und eine in den meisten Flussarbeiten anwendbare Kenntniss zu ziehen, sei es, dass es sich um eine mit Rücksicht auf die Schifffahrt ausgeführte Verbesserung handelt oder dass es sich um eine einfache in Hinsicht auf die Uferfestigkeit verfolgte Korrection handelt.

Die natürlichen Kräfte, welche auf einen Fluss einwirken, sind bedeutend, sie erreichen bisweilen eine ungeheuerere Gewalt und ihre Gesetze sind sehr complex. Der Kampf gegen diese Kräfte ist schwer, theuer und von einem zweifelhaften Erfolg; das Misslingen ist gewiss, wenn der verfolgte Zweck den Gesetzen, welche diese Kräfte regieren, entgegengesetzt ist. Wenn aber, anstatt gegen diese zu kämpfen, man sich darauf beschränkt, sie zu leiten; wenn man anstatt zu suchen, die Natur ihrer Wirkungen ganz zu verändern, sich begnügt, sie zu lenken, indem man fortschreitend die Richtung ihrer Wirkung ändert mittelst einer Reihe übereinstimmender Arbeiten, welche auf einander folgen und sich mit Zusammenhang ergänzen, so ist der Erfolg viel sicherer, weil in jedem Punkt das zu erreichende Ergebniss möglich und gering ist, und weil die Mittel, welche wir anwenden, dem Zweck verhältnissmässiger sind.

## § 2. Anwendungsbeispiele.

Um die vorstehenden Erklärungen zu ergänzen, wird es hinreichend sein, eine gewisse Zahl von Anwendungen der Methode, welche wir so eben

dargestellt haben, zu citiren. Wir werden die Beispiele auf der ganzen Strecke des Flusses wählen, das heisst, in den verschiedensten Zuständen in Hinsicht auf die Gefälle des Abflusses und die Natur der getragenen Materialien; so vertheilt, werden sie so gut wie eine völlige Flusskarte es machen würde, einen richtigen Begriff der Arbeiten geben, welche vor kurzem auf der Rhône ausgeführt wurden, und ihre Wiederholung würde nur ohne Nutzen Zustände wieder vorführen, welche überall die ähnlichen sind.

Vereinigung der Gewässer. — Querdämme und tauchende Buhnen. — Die Nebenarme haben immer den Nachtheil, den Abfluss des schiffbaren Armes bei niedrigem Wasserstande zu vermindern. Ihre Schliessung zum Spiegel der niedrigen Wasser, in den so eben bezeichneten Zuständen versteht sich, ohne dass es nothwendig sei, eine neue Erklärung zu geben; diese Schliessung wird, sei es mittelst Querdämme über die Breite des Nebenarmes bewirkt, sei es mittelst tauchender Buhnen, das heisst Querdämmen, welche sich über diesen Arm verlängern bis an den Hauptarm, dessen convexes Ufer sie ausbilden. Wir werden als Beispiele bezeichnen: die Stellen von Sénozan und Grigny vom Kilometer 13 bis an den Kilometer 15, (Pl. IV) und die Stelle von Gervans-Crozes vom Kilometer 86 bis an den Kilometer 89 (Pl. IX).

Aber ausserdem, und ohne dass es sich um einen Nebenarm handelt, kommt es oft vor, dass in einer Krümmung die Rinne sich in zwei Rinnen vertheilt, die eine der Krümme folgt, und die andere einer Ufer-austiefung in einer der Liniën der Krümmung; an dem Vereinigungspunkt beider Strömungen bildet sich dann eine Ablagerung ausserhalb ihrer normalen Lage, selbst zuweilen in völliger Krümmung. Man vernichtet leicht diese schädliche Wirkung durch die Sperrung der Nebenrinne mittels steiniger Querdämme oder tauchender Buhnen, welche den Zusammenhang des Ufers wieder herstellen und die Nebenströmung — *d. h.* die Ursache der zufälligen Ablagerung — vernichten.

Wir werden als Beispiele bezeichnen: die tauchenden Buhnen von Jassoux in dem „Passe“ von St. Alban, Kilometer 44 (Pl. VI), die schnell eine schlecht gelegene Stelle haben verschwinden lassen, welche trotz der anderen Arbeiten bestand; die Querdämme von La Perine in den „Passen“ von Oiselet und der Boulangère, Kilometer 230, (Pl. X); endlich die 3 Buhnen der Cabane, am Kilometer 322, welche hinreichend gewesen sind, um in kurzer Zeit eine Ablagerung verschwinden zu lassen, welche sich am Fuss der Kaimauer in Port St. Louis bildete, und um die nothwendigen Tiefen längs dieser Mauer wieder zu bringen (Pl. XI).

Concaves Ufer. — Längedamm und Vereinigungsquerdämme. — Als Beispiele von Längedämmen, welche das concave Ufer ausbilden und Vereinigungsquerdämmen jener Dämme, kann man bezeichnen:

Die Dämme von *St. Fons* und *Ivour*, vom Kilometer 4 bis an den Kilometer 7. (Pl. III). den Damm von *Senozan* am Kilometer 14 (Pl. IV), die Dämme der *Pêcheurs* und der *Roches* in den „Pässen“ von *Gerbay* und *Condrieu*, vom Kilometer 39 bis an den Kilometer 41, (Pl. V), den Damm von *St. Alban*, vom Kilometer 44 bis an den Kilometer 45, (Pl. VI); die Dämme von *Vions*, *Gervans*, *Lemps* und *Crozes*, in den „Pässen“ von *Gervans-Crozes*, vom Kil 86 bis Kil 89, (Pl. IX); und die Dämme von *Dragonet*, *Boulangère*, und *Oiselet*, vom Kil 228 bis Kil 232, (Pl. X).

Die interessantesten Beispiele sind diejenigen von *Roches*, der *Boulangère* und *St. Alban*, in sehr gekrümmten Stellen; der Krümmungsradius der Rinne fällt im Gipfelpunkt bis an 450 Meter auf die Ersteren und bis an 650 Meter auf den Dritten ab. Der Damm von *St. Alban*, welcher eine sehr unregelmässige Wendung berichtet und in einer sehr grossen Uferentfernung ausgeführt wurde, ist mit dem Ufer durch eine Gruppe von zwölf Querdämmen verbunden, deren Gefälle zwischen 1,75 % und 3 % wechseln.

Convexes Ufer. — Tauchende Buhnen. — Als Beispiele von tauchenden Buhnen, welche das convexe Ufer ausbilden, kann man bezeichnen: diejenigen von *Berne*, *Limony* und *Breze*, von Kil 53 bis Kil 55 (Pl. VII) und diejenigen von *Lemps* und *St. Estève* in dem „Pässen“ von *Gervans-Crozes*, vom Kil 86 bis an Kil 89 (Pl. IX). Die merkwürdigsten sind diejenigen von *Limony* (Pl. VII): diese fünf Buhnen bilden ein grosses Ufer aus, in sehr schwachem Gefälle mit Böschungen, welche von 0,8 % zu 1,5 % verändern.

Befestigung der Flusssohle. — Richtung der Schwellen. Getauchte Buhnen. — Als Beispiele von getauchten Buhnen werden wir bezeichnen:

Die Gruppe der zwanzig Buhnen von *St. Fons*, in Tiefen von 3 m. und 5 m. unter dem niedrigsten Wasserstande angelegt; sie wurden ausgeführt, um das Bett zu befestigen und die Ausspülungen anzuhalten, welche durch ein 4 m. über dem niedrigsten Wasserstande liegend altes Vertheidigungswerk hervorgerufen wurden, und um zugleich den Thalweg von dem Ufer zu entfernen, zu welchem er immer Neigung zeigt, wenn dieses Ufer krumm, hoch und glatt ist (Pl. III).

Die Gruppe der elf Buhnen von *Ivour*, mit ähnlichem Zweck wie diejenigen von *St. Fons* gebaut und in ähnlichen Tiefen liegend. Sie haben einen Fall des Wasserspiegels verhindert, welcher anfang sich zu offenbaren, und eine Biegung verbessert, deren Richtung schlecht war (Pl. III).

Die getauchten Buhnen der *Roches*, welche die Tiefen durchschneiden, entfernen den Thalweg von dem Ufer und leiten die Biegung (Pl. V). Man kann noch unter denjenigen, welche die Richtung der Biegung und die Orientierung der Schwellen zum Hauptzweck haben, nennen: die Buhnen der *Pêcheurs*, im „Passe“ von *Gerbay* (Pl. V); die getauchten und schieftauchenden Buhnen von *Gervans*, *Lemps* und *Crozes* im

„Passe“ von *Gervans-Crozes* (Pl. IX), endlich die Buhnen von der *Oiselet*-Fähre, der *Boulangère* und von *Oiselet* (Pl. X).

Grundschwellen. — Endlich werden wir als Beispiele von Grundschwellen, das heisst von getauchten Buhnen in Schrägen, welche auf der ganzen Breite der Rinne errichtet sind, um das Bett zu befestigen, wenn es sehr locker ist, die Schwellen von *St. Alban* (Pl. VI) und diejenigen vom *Creux des Mailles* (Pl. VIII), bezeichnen.

Concave Ufer ohne Damm. — Die nämliche Platte (die VIII<sup>se</sup>) stellt ein wenig oberhalb der *Creux des Mailles* den „Pass“ von *St. Rose* vor, wo die örtlichen Zustände in Gefälle, Krümmung und Widerstand erlaubt haben, den concaven Damm zu vermeiden, und sich mit den in tauchenden Buhnen ausgeführten Vereinigungswerken zu begnügen. Die Zahl solcher Stellen ist sehr gering.

### § 3. *Verfassung des Flusses.*

#### Zustand vor den letzten Arbeiten.

Um sich die Ergebnisse zu erklären, welche die Methode, deren Beschreibung wir gegeben haben, erzeugt hat, ist es zuerst zweckmässig, einige Hinweisungen in Betreff auf die Verfassung des Flusses, in welchem diese Methode ausgeführt wurde, und auf die Zustände, welche der Fluss der Schifffahrt bot, zu geben.

Verfassung. — Der Lauf der Rhône zwischen ihrer Quelle und dem Meer beträgt 750 Kilometer: 227 k. auf dem schweizerischen und 532 k. auf dem französischen Gebiet.

In Hinsicht auf den Handel kann man die französische Rhône in zwei Hauptstrecken theilen; 1° die Ober-Rhône, von der schweizerischen Grenze bis in Lyon, welche man als von localem Interesse betrachten kann und welche zu Verschiffung der auf ihrem Ufer in Ueberfluss vorhandenen Baumaterialien dient; ihre Länge ist 193 Kilometer; 2° die Unter-Rhône und die Meer-Rhône, zwischen dem Einfluss der Saône in Lyon und dem Meer, welche durch die Saône mit den mittleren, nördlichen und östlichen Wasserstrassen verbunden sind, und zum Netze der grossen Wasserstrassen gehören; sie scheinen dazu bestimmt zu sein, auf dem Handelsverkehr einer gewissen Zahl dieser grossen Linien einen entscheidenden Einfluss auszuüben.

Arbeiten durch Einengung sind zu verschiedenen Zeiten auf beiden Strecken ausgeführt worden. Der Kanal von Miribel, welchen wir genannt haben, gehört zu der ersten Strecke. Die Arbeiten durch die Methode, welche wir danach beschrieben haben, sind nur auf der Zweiten ausgeführt worden, der einzigen, welche durch ihre Handelsichtigkeit die Ausgabe für umfassende Bauten rechtfertigte. Wir werden uns also im letzten

Theile dieses Berichtes nur mit der zweiten Strecke des Flusses beschäftigen.

Die Länge der Rhône zwischen Lyon und dem Meer ist 330 Kilometer, zwischen Lyon und der Schleuse des *St. Louis*-Seekanals 324 Kilometer. Die Höhe der Vereinigung der Saône mit der Rhône ist 158,58 m.; es ergibt sich daraus ein mittleres Gefälle von 0,48 m. per Kilometer  $\left(\frac{1}{2080}\right)$ .

Dieses Gefälle ist sehr ungleich vertheilt; es zeigt die folgenden hauptsächlichlichen Veränderungen:

von Lyon bis zur Isère auf	. 103,50 Km.	Mittleresgefälle	. 0,50 m.	$\left(\frac{1}{2000}\right)$
von der Isère bis zur Ardeche	. 87,— Km.	id.	. 0,775 m.	$\left(\frac{1}{1304}\right)$
von der Ardeche bis zur Durance	. 57,— Km.	id.	. 0,513 m.	$\left(\frac{1}{1949}\right)$
von der Durance nach Soujean	. 28,— Km.	id.	. 0,260 m.	$\left(\frac{1}{3846}\right)$
von Soujean nach St Louis	. 47,— Km.	id.	. 0,023 m.	$\left(\frac{1}{43.478}\right)$

An gewissen Punkten ist das Gefälle stärker als das Mittlere, und man findet Stellen, wo es auf einer kleinen Länge 3 oder 4 Meter per Kilometer erreicht und sogar übertrifft.

Die Oberflächen-Schnelligkeit der Strömung verändert sich stark in der nämlichen Strecke; diejenigen, welche bis an die Grenze der Schiffbaren Wasser sich finden, bewegen sich innerhalb folgender Grenzen:

bei niedrigem Wasserstande von 1,00 m. zu 2,50 m. per Secunde, je nach den Punkten;	
bei mittlerem Wasserstande von 1,50 m. zu 3,50 m.	do.
bei Hochwasser, . . . von 2,50 m. zu 4,00 m.	do.

Aber bei mittlerem Wasserstande und bei Hochwasser ist die Rinne sehr breit; die Schnelligkeiten sind sehr verschieden von einem zum anderen Punkt eines einzelnen Schnittes, und die aufwärts fahrenden Schiffe können die grossen Schnelligkeiten vermeiden.

Beim grossen Hochwasser, wenn die Schifffahrt unterbrochen ist, hat man Schnelligkeiten von 5 und 6 Meter festgestellt.

Das Rhônebett ist aus einer sehr beweglichen und sehr lockeren Kieslage von grosser Dicke gebildet. An einigen Punkten treten Felsenspitzen auf, an anderen, welche selten sind, dehnen sich von einem Ufer zum andern wahrhafte Querfelsensperren aus. Die Bettgestaltung ist merklich die nämliche auf der ganzen Flussstrecke, und die einzige Verschiedenheit von einem Punkt zum anderen besteht in der Grösse der Kiesstücke. Von *Soujean*, 28 Kilometer stromabwärts der *Durance* an, welche der letzte Nebenfluss der Rhône ist, verschwindet der Kies und man findet nur noch feinen Sand.

Der Abfluss der Rhône ist sehr veränderlich; der Unterschied zwischen dem Umfang der niedrigen Wasser und denjenigen des Hochwassers ist ausserordentlich, sowie aus der folgenden Tabelle hervorgeht.

	Beobachtetes Minimum im Jahre 1884.	Convention- neller niedrigster Wasserstand im Jahre 1878.	Beobachtetes Maximum im Jahre 1856.
Oberhalb des Einflusses der Saône . . . . .	130 m.q.	140 m.q.	5.400 m.q.
Stromabwärts der Saône . . . . .	150	240	7.000
id. der Isère . . . . .	250	365	9.700
id. der Ardèche . . . . .	300	380	11.900
id. der Durance . . . . .	370	450	13.900

Der Abfluss des Hochwassers von 1856 blieb ausserdem bedeutend unter dem möglichen Maximum, einerseits weil die Hochwasser mehrerer Nebenflüsse merklich unter dem bekannten Maximum waren, andererseits, weil kein Zusammentreffen in dem Abfluss der Maxima vorhanden war.

Wie das auch sein mag, diese Extreme sind sehr selten, und um über die Flussverfassung in Hinsicht auf die Schiffbarkeit zu urtheilen, muss man sich weniger an die ausserordentlichen Thatsachen halten, als auf diejenigen deren Wiederholung häufig genug ist, um die Transportindustrie dieselben in Betracht ziehen zu lassen.

Die Hochwasser der Rhône sind sehr schnell, sie fliessen sehr geschwind ab, sie bedecken fast überall beträchtliche Oberflächen auf denen man lenksame Strömungen antrifft, und in der That wird die Schifffahrt nur durch einen Wasserstand von mehr als 4 Meter über den niedrigsten Wassern gestört, als der Durchgang unter den Brücken gefährlich wird. Die Unterbrechungen wegen Hochwassers sind immer sehr kurz.

Die niedrigen Wasser, deren Dauer im allgemeinen viel länger ist, sind ein ernsthafteres Hinderniss, weil die Unterbrechung, welche sie verursachen, länger ist und weil, trotz der Abflussverminderung, sie an gewissen Punkten mit einer schwachen Wassertiefe, das heisst in den ungünstigsten Zuständen, fast so starke Schnelligkeiten wie im Hochwasser darbieten. Das ist der Moment, wo der Wasserlängenschnitt eine Reihe von Abstürzen zeigt und wo die örtlichen Gefälle sich am meisten von der Durchschnittszahl entfernen. Die Vermehrung der Wassertiefe bei niedrigem Wasserstande hat also die doppelte Wirkung, die Dauer der schiffbaren Zeit zu verlängern und während dieser Perioden die Anstrengung zu vermindern, welche man anwenden muss, um die Strömung hinaufzufahren.

Um die Wassertiefe eines Flusses zu bestimmen, ist es gebräuchlich, die Tiefe unter einem gewissen niedrigsten Wasserstand anzugeben, welcher als Vergleichungsspiegel angenommen wird: im allgemeinen ist es der Spiegel der gewöhnlichen niedrigen Wasser. Auf der Rhône hat man den

Spiegel der niedrigsten Wasser angenommen, welche am Augenblick, dass man die Regulierungsarbeiten anfang, beobachtet wurden.

Der Rhône-abfluss bei niedrigem Wasserstande in der schwierigsten Strecke d. h. in derjenigen, wo die grössten Gefälle zwischen der Isère und der Ardèche sich finden, ist fast allein aus der Ober-Rhône, der Saône und der Isère gebildet. Die Ober-Rhône und die Isère, welche durch die Gletscher unterhalten werden, haben ihr Minimum im Winter; die Saône, welche durch die Regen unterhalten wird, hat ihr Minimum in Sommer. Der conventionnelle niedrigste Wasserstand der Rhône stellt sich ein, wenn die Ober-Rhône und die Isère miteinander in ihrem Minimum stehen, und wenn sogleich die Saône ihren niedrigsten Winterwasserstand hat. Damit die Rhône unter diesem niedrigsten Wasserstand fällt, ist es nöthig dass ein langer und kalter Winter, — Bedingung des Minimum auf der Ober-Rhône und der Isère —, ohne Herbstregen nach einer längeren Trockenheit, — Minimumzustand auf der Saône —, folgt. Dieser Zustand hat sich im Jahre 1884 gezeigt; in welchem Jahre die Wasserunterhaltung der Kanäle wirkliche Schwierigkeiten geboten hat; er wurde vorher nicht bemerkt, so dass man den auf der Rhône als Vergleichungsspiegel gewählten niedrigsten Wasserstand betrachten soll, wie wenn er einem Wasserstand entsprach welcher, ohne der möglichst Niedrige zu sein, doch ausserordentlich und selten ist.

Alle Nachweisungen, welche weiter gegeben werden, beziehen sich auf diesen niedrigsten Wasserstandsspiegel, welcher in einer Höhe gewählt wurde, die viel niedriger war, als diejenige, welche man auf den meisten Flüssen angenommen hat, und es war wichtig, diese Bemerkung zu machen, um die Wichtigkeit der erlangten Ergebnisse besser schätzen zu lassen. Die vorhergehenden kurzen Nachweisungen sind hinreichend, um zu zeigen, dass in Hinsicht der Beweglichkeit des Bettes, der Schnelligkeit der Strömung, und der Unregelmässigkeit des Abflusses, die Rhône eine Gesammtheit von Zuständen anbietet, welche ungünstiger als auf jedem andern Fluss mit grosser Schifffahrt sind. Und sie erlauben zugleich, die grosse Zahl der Schwierigkeiten zu verstehen, welche die kleine Schifffahrt zu besiegen hatte, und auch die Zahl derjenigen, welche es nothwendig wurde abzustellen, um die Zustände der Schiffbarkeit zu verbessern.

Die Hauptschwierigkeiten, welche die kleine Schifffahrt erlitt, waren die schlechte Richtung der Rinne, die Gewalt der Abstürze auf den Stromschwelen, die Unzulänglichkeit der Wassertiefe und die langen und oft unvorhergesehenen Stillstände, welche deren Folge waren.

Die Unregelmässigkeit der Rinne und die scharfen Krümmungen des Thalweges erlaubten den Schiffen nicht, sich allein mit dem Steuer zu lenken; um diese Stellen zu überfahren, musste man die Richtung des Schiffes mittels Seilen erhalten; d. h. mittelst einer gefährlichen, schweren und langen Arbeit, welche auf jeder Reise sehr oft erneuert wurde und beträchtlich die Dauer und die Ausgabe vermehrte.

Der Absturz auf einigen Stromschwellen war bei niedrigem Wasserstande so gross, dass Dampfschiffe, welche eine Kraft von 1000 zu 1200 Pferden entwickeln konnten, dieselben nur überfahren konnten, indem sie sich ziehen liessen.

Die Wassertiefe bei niedrigem Wasserstande stieg auf gewissen Stellen sogar unter 0,40 m. herab; die Dauer der guten schiffbaren Wasserstände war kurz, Stillstände erzeugten sich jedes Jahr und dauerten oft bis 90 und 100 Tage, und manchmal noch länger. Die Folgen der ausserordentlichen Beweglichkeit des Bettes waren bei jedem Hochwasser oft bedeutende Versetzungen der Rinne, und grosse Kiesbeförderungen, welche unversehens Sohlenerhöhungen von solcher Bedeutung hervorriefen, dass die Schifffahrt sogar bei bezüglich hohem Wasserstande verhindert wurde.

Auf vielen Punkten fürchtete man gefährliche Riffe. Und eine gewisse Zahl von Brücken, welche in einem zu niedrigen Spiegel ausgeführt wurden, nöthigten die Schifffahrt sich zu unterbrechen, bevor die Strömungsschnelligkeit sie dazu zwang, und entzogen ihr also eine lange Periode von Fahrten mit Volladung.

Trotz dieser ungünstigen Umstände, hat die Rhône, auf der eine bedeutende Flotte gewaltiger und schneller Dampfschiffe sich neben den stromabwärts fahrenden Schiffen gebildet hatte, einen ausserordentlichen Verkehr begünstigt, und blieb sie die beste Wasserstrasse in doppelter Hinsicht, in Betreff der Schnelligkeit und in Betreff geringer Frachtkosten, bis zur Eisenbahneröffnung.

Während dieser sehr bewegten Periode, unternahm man nur sehr wenige Regulierungsarbeiten, und einige Leinpfade ausgenommen, sind die meisten von 1860 ausgeführten Arbeiten Werke anderer Art, deren Hauptzweck die Vertheidigung gegen die Ueberschwemmungen war.

Aber seit der Eröffnung der Eisenbahn von Lyon nach Avignon veränderte sich der Zustand ganz und gar: der Handel, welcher in der Eisenbahn ein schnelleres und besonders regelmässigeres Werkzeug fand, wollte nicht mehr die häufigen unvorhergesehenen und verlängerten Transportunterbrechungen ertragen, welche er bis dahin erlitten hatte, und nach und nach entfremdete er sich der Schifffahrt. Die Schiffferei verlangte dringend die Verbesserung des Flusses; mehrere allgemeine Programme wurden untersucht; aber die für jedes Jahr in dieser Arbeitenanordnung bestimmten Hilfsmittel erlaubten nicht, sie in Ausführung zu setzen; von 1860 bis 1878 beschränkte man sich auf eine abgesonderte Wirkung an den nachtheiligsten Stellen, je nach der Dringlichkeit ihrer Verbesserung und der Wichtigkeit der verfügbaren Hilfsmittel. Eine Reihe von Correctionen wurde also vorgenommen; sie wurden als Entwurf demjenigen des auf der Ober-Rhône ausgeführten Kanales von Miribel ähnlich, dessen Beschreibung wir gegeben haben, aber ihre Ausgedehntheit und Wichtigkeit waren bedeutend kleiner. Die erlangten Ergebnisse waren sehr verschieden; örtlich wurden gewisse Verbesserungen erlangt, ohne dass sich daraus eine wirk-

lich nützliche Wirkung für den Frachtverkehr ergab, sei es weil an vielen Punkten die verwirklichten Verbesserungen durch Verschlechterungen oberhalb oder stromabwärts ausgeglichen wurden, sei es weil, sogar ohne diese Schwierigkeit, örtliche Verbesserungen nicht auf eine wirksame Weise die Zustände der Schifffahrt verändern konnten, deren Lauf und Ladungen ungewiss bleiben, so lange es nachtheilige Stellen giebt, und welche sich immer nach den Nachtheiligsten richten. Die Arbeiten hatten zugleich einige Fehler des gebrauchten Systemes gezeigt; sie hatten dazu geführt, die Wichtigkeit eines guten Entwurfes, die Unannehmlichkeit der langen geraden Linien, die Nothwendigkeit zahlreicher Abweichungen zu bewahren und den Zusammenhang in den Uferkrümmungen zu sichern, sowie den Nutzen der Höheabdachung der Dämme zu erkennen.

Mit diesen allmählichen Vervollkommnungen schien es, dass die an gewissen Punkten erlangten guten Ergebnisse leicht verallgemeinert werden könnten, und dass es besonders wichtig war, die Arbeiten methodisch auf der ganzen Strecke des Flusses fortzusetzen, um auf der ganzen Ausdehnung eine wirklich nutzbare Verbesserung für den Handel zu sichern.

Aus diesem Gedanken ist das letzte Regulierungsprogramm hervorgegangen. Dieses Programm ist durch das Gesetz vom 13<sup>ten</sup> Mai 1878 angenommen worden, welches zu seiner Ausführung eine Summe von 45 Millionen Franken bestimmt hat. Die Arbeiten sind unmittelbar unternommen worden und mit grosser Thätigkeit fortgesetzt; aber je nachdem sie sich vermehrten, wurden die Fehler des angenommen Systemes um so fühlbarer; es wurde augenscheinlich, dass die Nachtheile welche man erkannt hatte, nicht nur von dem Solidaritätsmangel der Unternehmungen, sondern auch von dem Ursprung selbst der verfolgten Methode herrührten, und man musste erkennen, dass, wenn man sich auf den ursprünglichen Begriff einer Regulirung durch Einengung mittelst gleichlaufender niedrigen Dämme, welche einen Normalschnitt ausbilden, beschränkte, man keinen ganzen Erfolg erlangen und nur eine einzelne und unzulängliche Verbesserung verwirklichen würde.

Man würde also dazu geführt, Querwerke gemeinschaftlich mit den langen Dämmen anzuwenden, die Wirkung des austretenden Werkes durch getauchte Werke zu vollenden und abzuändern, sich besser deren Wirkungen zu erklären und daraus andere Schlüsse zu ziehen. Diese Werke waren nicht neu; die einen wie die anderen wurden schon sehr oft sei es in Frankreich, sei es im Auslande, vorgeschlagen oder gebraucht; aber die ihre Anwendung, welche auf der Rhône unter den Bedingungen gemacht wurde, welche wir bezeichnet haben, bildet eine in mancher Hinsicht neue Methode, nicht durch die Anwendungsordnung und die Verbindung der verschiedenen Vorbilder, um übereinstimmende Wirkungen zu erlangen, aber noch mehr, wie es aus der Darstellung, welche wir gemacht haben, hervorgeht, durch die Grundsätze, worauf sie beruht, und durch die Verschiedenheit des verfolgten Zweckes.

Die ersten Versuche in dieser neuen Art gehen bis auf 1882 zurück; sie wurden während zwei Jahre fortgesetzt; die erlangten Erfolge und die erworbene Erfahrung haben die Ansichten geläutert und erlaubt, die sehr einfachen Anordnungen zu bestimmen, welche wir gezeigt haben, und welche seit 1884 in allen neuen Arbeiten angenommen worden sind, indem man, so viel wie möglich, die alten Arbeiten auf die gleichen Vorbildern zurückführt.

#### § 4. — *Erlangte Ergebnisse.*

Obschon die Regulierungsarbeiten der Rhône, welche in Ausführung des Gesetzes vom 13<sup>ten</sup> Mai 1878 unternommen wurden, nicht ganz geendet sind und obwohl sie noch während langer Jahre langsam fortgesetzt werden müssen, ist das Hauptwerk vollendet; was noch zu machen bleibt, ist wenig bedeutend und verlangt nur eine kleine Ausgabe; die jetzt auszuführenden Arbeiten werden besonders zum Zweck haben, die erworbenen Ergebnisse zu befestigen, mehr noch, als neue Fortschritte zu verfolgen; die Grenze der möglichen Fortschritte, ohne dass sie schon erreicht sei, ist heute sehr nahe, und man wird nur in ziemlich eingeschränkten Verhältnissen die schon jetzt sehr befriedigenden Zustände der Schiffbarkeit verändern können.

Es ist also möglich, bei dieser Sachlage, die Wichtigkeit der verwirklichten Fortschritte zu messen und die neuen Zustände, welche die Schifffahrt heute auf der Rhône antrifft, zu bestimmen.

Der verwirklichte Fortschritt betrifft die Vermehrung der Minimalwassertiefe, die Verminderung der Zahl der nachtheiligen Stellen, und in Folge dessen, die Vermehrung der Perioden der Schiffbarkeit und die Verminderung der Stillstände.

Vermehrung der Minimalfahrwassertiefe beim niedrigsten Wasserstande. — Die Minimalfahrwassertiefe vor den Arbeiten fiel auf einer gewissen Zahl von Stellen oft bis zu 0,40 m. zurück (sie ist sogar auf 0,35 m. und 0,30 gefallen). Diese Wassertiefe hat sich fortschreitend vermehrt und die bei niedrigem Wasserstande seit 1878 gemachten Constatirungen haben erlaubt, die folgenden Zahlen als Minimum anzunehmen.

Bei niedrigem Wasserstande von 1878, war die Fahrwassertiefe.			0,40 m.
id.	1882.	id.	0,80 m.
id.	1884.	id.	0,90 m.
id.	1887.	id.	1,05 m.
id.	1893.	id.	1,25 m.

Auf dieses Minimum von 1,25 m. kann man heute rechnen; es besteht nur noch auf einer einzelnen Stelle, welche bald umgebildet sein wird; man hat also 0,85 m. gegen den vorhergehenden Zustand gewonnen; die Minimalfahrwassertiefe hat sich also um das Dreifache vermehrt. Das nutzbare Gewinn ist noch bedeutender für die Schifffahrt, weil die Richtung der Rinne besser ist und weil ihre Abweichungen weniger scharf sind; es geht daraus hervor, dass die Schiffe leichter der Linie der

grössten Tiefen folgen und die verfügbare Wassertiefe besser benützen können.

Verminderung der Zahl der nachtheiligen Stellen. — Die Zahl der Stellen, auf denen man nicht zu jeder Zeit die der Schifffahrt mit Volladung entsprechende Fahrwassertiefe antrifft, hat sich jedes Jahr vermindert.

Die verfügbare Fahrwassertiefe ist auf jeder Stelle durch Sondirungen erkannt worden, welche sich jede Woche bei niedrigem Wasserstande, und jede vierzehn Tage bei mittlerem Wasserstande ausführen. Alle auf derselben Untiefe bezüglichen Sondirungen sind durch eine Krümme verbunden, welche in Beziehung auf die Wasserhöhen an einem benachbarten Pegel ausgeführt ist, für welchen man die Lage bei niedrigstem Wasserstande kennt. Die Untersuchung der Krümme erlaubt also, in jeder Zeit die Tiefe zu bestimmen, welche auf der Untiefe bleiben würde, wenn das Wasser auf den niedrigsten Stand fiele, und folglich, in Beziehung dieses Vergleichsspiegels, den Zustand der Untiefen zu kennen, welche auf der ganzen Flussstrecke vorhanden sind.

Die folgende Tabelle giebt eine kurze Uebersicht dieses Zustandes für einige seit dem Anfange der Arbeiten verlaufenen Jahre; diese Jahre wurden unter denjenigen gewählt, welche die niedrigsten Wasser gezeigt hatten, und während derjenigen die, wie oben gesagt, erlangten Tiefen bei niedrigstem Wasserstande, durch die unmittelbare Beobachtung controlirt wurden.

Die Ergebnisse sind zuerst für jeden der Bezirke, in welchen die Verwaltung der Rhône vertheilt ist, gegeben; alsdann sind sie in Gruppen für die ganze Flussstrecke zusammengestellt.

Die graphischen Zeichnungen, welche diesem Bericht beigefügt sind, drücken in sprechender Weise die nämlichen Nachweisungen für drei Jahre aus: 1878, beim Anfang der Arbeiten, 1884, Jahr mit ausserordentlich niedrigen Wassern, und für das letzte Jahr 1893 (Pl. XII, XIII, XIV).

Auf diesen Zeichnungen hat man den Wasserspiegel bei niedrigstem Wasserstande durch eine Horizontallinie vorgestellt und weiter unten hat man Tiefen von 1,00 m., 1,20 m., 1,40 m., und 1,60 m. bezeichnet: die heute bestehenden Untiefen sind da in ihrer kilometrischen Lage und in ihrer Tiefe unter dem niedrigsten Wasserstande dargestellt.

Die Ansicht dieser graphischen Zeichnungen, sowie das Lesen der Tabelle sind völlig beweisend; die Verbesserung geht daraus mit einer vollständigen Augenscheinlichkeit hervor, und, ohne darauf zu bestehen, wird es hinreichend sein, einige Ziffern hervorzuheben.

Die Stellen, welche weniger als 1,20 m. bei niedrigstem Wasserstande anboten, waren 81 vor der Arbeitsausführung; es blieben nur noch 10 im Jahre 1884 und 3 in 1887; heute bleibt keine mehr.

Die Stellen, welche weniger als 1,40 m. hatten, waren 104 vor der Arbeitsausführung; es blieben 31 im Jahre 1884 und 16 im Jahre 1887; heute giebt es nur noch 3.

Aber diese Untersuchung zeigt nicht nur die Bedeutung der erhaltenen Resultate; sie zeigt auch, was nicht weniger wichtig ist und was eine günstige Vorhersagung für die Dauer der erworbenen Ergebnisse ist, das diese Verbesserung regelmässig und unveränderlich ist, dass sie von Jahr zu Jahr deutlicher wird, und dass man sie im einzelnen wie im ganzen auf der ganzen Flusstrecke und in jedem Bezirk erkennen kann.

Und man kann alsdann sehr richtig voraussehen, dass mit der Zeitwirkung und einigen Vollendungsarbeiten, das Minimum bei niedrigstem Wasserstande sich bis ungefähr 1,40 m. und 1,50 m. erhöhen wird. Die ausführliche Ergründung der verbesserten Stellen würde vielleicht zu optimistischen Vermuthungen führen, und es scheint nicht nützlich zu sein, dieses zu unternehmen, weil die Schlussfolgerungen sehr zweifelhaft wären. In einer Art von so neueren Arbeiten, wo die Erfahrung jeden Tag gewissere Nachweisungen mitbringt, und nach und nach die Angaben einer noch ziemlich unvollständigen Wissenschaft ergänzt, erscheint es vorsichtig zu sein, die zweifelhaften und entfernten Möglichkeiten, zur Seite zu setzen und nur die nahen Wirklichkeiten zu betrachten.

Ausserdem entsprechen jetzt schon diese Wirklichkeiten einer sehr befriedigenden Schiffbarkeitslage; aber die oberen Ziffern, so beweisend sie sein mögen genügen nicht, um solche Lage völlig in's Licht zu stellen. Es ist leicht, noch deutlicher die Wichtigkeit der verwirklichten Verbesserung und der Vortheile welche sie der Schifffahrt sichert, zu zeigen.

Verlängerung der Perioden guter Schiffbarkeit. — Auf einem Kanal oder auf einem kanalisirten Flusse ist die Fahrwassertiefe merklich unveränderlich; sie est der klare und genaue Ausdruck eines wesentlichen Theiles der Schiffbarkeitzustände der betrachteten Wasserstrasse; aber auf einem Strom mit veränderlicher Verfassung und freiem Laufe, wie die Rhône, ist die Fahrwassertiefe veränderlich, und ihr Minimum bei niedrigstem Wasserstande ist eine um so unvollständigeres Mass dieser nämlichen Schiffbarkeitzustände, als der Spiegel der niedrigsten Wasser, worin diese Wassertiefe aufgetragen ist, einen ausserordentlicheren und selteneren Wasserstand bildet und dass dieses Minimum dadurch auch eine ausserordentlichere und seltener Thatsache ist.

Um einen passenden Vergleichungsausdruck mit den anderen Wasserstrassen zu haben, muss man diese Nachweisung erklären und daraus die Dauer der guten schiffbaren Wasser, oder noch besser die den verschiedenen Fahrwassertiefen entsprechende mittlere Dauer ziehen nach dem vorausgesetzten oder schon verwirklichten Werth für das Minimum des niedrigsten Wasserstandes. Man kann dieses Ergebniss auf folgende Weise erreichen.

Wenn man den Zustand der Untiefen untersucht, erkennt man, dass wenn die Wasser steigen, die Fahrwassertiefe sich selten um eine Quantität vermehrt, welche der durch den nahen Pegel angedeuteten Veränderung gleich ist, und man erkennt, dass in ungünstigsten Zuständen eine Wasser-

Stellen, welche bei niedrigem Wasserstand die unten gezeichneten Wassertiefen haben.	von Lyon nach St Vallier.				von St Vallier nach der Ardeche.				von der Ardeche bis ins Meer.				von Lyon bis ins Meer.							
	Anzahl der Stellen.				Anzahl der Stellen.				Anzahl der Stellen.				Anzahl der Stellen.							
	1878.	1882.	1884.	1887.	1893.	1878.	1882.	1884.	1887.	1893.	1878.	1882.	1884.	1887.	1893.	1878.	1882.	1884.	1887.	1893.
weniger als 0,50 . . . . .	—	—	—	—	—	2	—	—	—	—	3	—	—	—	—	5	—	—	—	—
„ 0,60 . . . . .	1	—	—	—	—	4	—	—	—	—	3	—	—	—	—	8	—	—	—	—
„ 0,70 . . . . .	5	—	—	—	—	9	—	—	—	—	5	—	—	—	—	19	—	—	—	—
„ 0,80 . . . . .	5	—	—	—	—	9	—	—	—	—	8	—	—	—	—	22	—	—	—	—
„ 0,90 . . . . .	7	2	—	—	—	14	2	1	—	—	9	—	—	—	—	30	4	1	—	—
„ 1,00 . . . . .	12	2	1	—	—	17	3	4	—	—	11	2	—	—	—	40	7	5	—	—
„ 1,10 . . . . .	22	4	3	2	—	27	6	5	—	—	14	2	—	—	—	63	12	8	2	—
„ 1,20 . . . . .	31	6	4	2	—	34	10	6	1	—	16	2	—	—	—	81	18	10	3	—
„ 1,30 . . . . .	33	10	5	2	—	38	11	9	5	1	20	4	2	—	—	91	25	16	7	1
„ 1,40 . . . . .	40	18	14	7	1	42	19	14	9	2	22	5	3	—	—	104	42	31	16	3
„ 1,50 . . . . .	43	23	21	16	1	45	27	25	20	5	23	5	5	2	—	111	55	51	38	6



Unter dieser ersten Gestalt hat man für jede durchlaufene Etape die Tageanzahl, welche einer zwischen bestimmten Grenzen begriffenen Fahrwassertiefe entspricht. Man kann bemerken, dass die Wasser durchschnittlich zwei Tage per Jahr unter dem niedrigsten Wasserstand bleiben, das heisst im ganzen 40 Tage in dem Zeitraume von zwanzig Jahren, welcher gedient hat um das mittlere Jahr zu geben; sie können zu etwa 0,25 m. darunter fallen und folglich während dieser zwei Tage nur eine Wassertiefe lassen, welche 0,20 m. niedriger ist als das entsprechende Minimum.

Man kann dieselben Ergebnisse unter noch einer zweckmässigeren Gestalt darstellen, wenn man die Tageanzahl ins Licht stellt, während derjenigen man eine höhere (als eine bestimmte Zahl) Fahrwassertiefe besitzt, das heisst die Tageanzahl, während derjenigen man mit einem bestimmten niedrigsten Wasserstandminimum die Schiffe bei solchem oder solchem Tiefgang laden kann.

Die zweite Tabelle macht diese Angaben:

Tageanzahl, welche den Fahrwassertiefen entspricht, die höher als die hierunten bezeichneten Ziffern sind.

Fahrwassertiefe.	Bei niedrigstem Wasserstandminimum von :							1,60
	0,40 Zustand in 1873.	0,80 Zustand in 1882.	0,90 Zustand in 1884.	1,05 Zustand in 1887.	1,25 Zustand in 1893.	1,40 Vermuth- licher Zustand.		
über 0,40 m.	Tage 363							
id. 0,60 „	354							
id. 0,80 „	336	363	363					
id. 1,00 „	310	354	359	363				
id. 1,20 „	273	336	346	357	363			
id. 1,40 „	227	310	324	341	357	363		
id. 1,60 „	182	273	291	317	341	354	363	
id. 1,80 „	139	227	250	282	317	336	354	
id. 2,00 „	101	182	206	240	282	310	336	

Diese Zahlen erlauben leicht die Vergleichung zwischen den verschiedenen allmählichen Zuständen zu machen, durch welche die Verbesserung gegangen ist und denjenigen, worauf man zählen kann. Wir beschränken uns darauf die Vergleichung zwischen dem Zustand vor den Arbeiten und dem jetzigen Zustand zu machen, indem wir die Zahlen, welche ihnen entsprechen in einer letzten Tabelle zusammenstellen werden; diese Tabelle wird unmittelbar den verwirklichten Vortheil für jede Fahrwassertiefe von 0,40 m. als Minimum, bis zu 2,00 m., zeigen.

ZEITEN.	Tageanzahl, welche im mittleren Jahre den Fahrwassertiefen entspricht, die höher sind, als die hierunter bezeichneten Zahlen.								
	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00
Jetziger Zustand (1893). . .	365	365	365	365	363	357	342	317	282
Vor der Arbeitsausführung .	363	354	336	310	273	227	182	139	101
Verschiedenheiten. . . . .	2	11	29	55	90	130	160	178	181

Also fiel vor der Arbeitsausführung die Minimal-Fahrwassertiefe bei niedrigstem Wasserstande auf 0,40 m.; man hatte mehr als 1,60 m. während 182 Tage und mehr als 2,00 m. während 101 Tage. Da heute die Minimal Fahrwassertiefe bei niedrigstem Wasserstande 1,25 m. ist, so hat man mehr als 1,60 m. während 342 Tage und mehr als 2,00 m. während 282 Tage; man hat 160 Tage für die erste und 181 Tage — *d. h.* sechs Monate — für die zweite Wassertiefe gewonnen.

Wenn man, wie die Beobachtung erlaubt darauf zu zählen, ein Minimum von 1,40 m. erreicht, so wird man mehr als 1,60 m. während 354 Tage und mehr als 2,00 m. während 310 Tage haben; die Dauer dieser letzten Wassertiefe wird mehr als verdreifacht werden.

Diese Vergleichung, ausser ihrem Hauptergebniss, dass heisst der Voraugenlegung der verwirklichten Verbesserung, bestätigt die weiter oben angestellte Betrachtung und zeigt, wie unzulänglich der Ausdruck Minimal Fahrwassertiefe in jeder Zeit ist, um die Zustände der Schiffbarkeit eines Flusses mit freiem Laufe zu bezeichnen. Im unbedingten Sinne genommen zeigt er zwischen einem Zustand des Flusses, welcher 1,60 m. bei niedrigstem Wasserstande sein würde und demjenigen, welcher nur 1,25 m. beträgt, eine Verschiedenheit, welche in Hinsicht auf die Handelsbenutzung, beim ersten Anblick ausserordentlich zu sein erscheint; in der That, beschränkt er sich hierauf: im ersten Falle würde man mehr als 1,60 m. während 363 Tage haben, und im zweiten Falle hat man mehr als 1,60 m. während 341 Tage; die Verschiedenheit bezieht sich nur auf 22 Tage, während welcher die Fahrwassertiefe zwischen 1,25 m. und 1,60 m. begriffen bleibt, und nur während 6 Tage unter 1,40 m. fällt.

So findet sich die Bemerkung bekräftigt, welche wir am Anfang dieses Paragraphes gemacht haben; die jetzige Zahl der Minimal-Fahrwassertiefe bei niedrigem Wasserstand wird sich noch vermehren; es werden sich daraus gewiss wirkliche Vortheile für die Schiffferei und eine noch grössere Sicherheit für ihre Ladungen ergeben; aber die Gesammtheit der Zustände der Schiffbarkeit kann nicht mehr in gründlicher Weise verändert

den, weil ihre Umgestaltung fast ganz vollkommen und der Raum der möglichen Fortschritte sehr beschränkt ist.

Unterdrückung der Sperren wegen niedrigem Wasser. — Die Verlängerung der Perioden mit guter Schiffbarkeit entspricht einer Verminderung der Dauer der Sperren; es ist nützlich, in dieser anderen Weise die vollkommenen Fortschritte ins Licht zu stellen; in der That wirken die Stillstände auf den Verkehr wie die Ladungsvermindernngen, und noch in einem höheren Grad, weil durch die Verminderung der Materialbenützung die Transportkosten vermehren; aber wenn sie sehr lange dauern und sich in einer unvorhergesehenen Weise erzeugen, wie es der Fall auf der Rhône war, so bewirken sie einen vielleicht noch nachtheiligeren Einfluss, weil sie die Regelmässigkeit verhindern, d. h. eine Bedingung der grossen Entwicklung der Transporte, welche nicht weniger wesentlich ist als die Billigkeit. Die Stillstände in Folge des niedrigen Wasserstandes sind fast ganz verschwunden, und die fortschreitende Verspätung der Zeit, wo sie anfangen, lässt zugleich den Lauf und die Wichtigkeit des Fortschrittes erkennen.

Die hierunten bezeichnete Tabelle zeigt für jedes Jahr die Wasserhöhe über dem niedrigsten Wasserstand, wobei die Schifffahrt unmöglich ward und unterbrochen werden musste.

Im Jahre 1874	war diese Höhe	. . . . .	0,80 m.
id. 1877	id.	. . . . .	0,78 m.
id. 1878	id.	. . . . .	0,73 m.
id. 1879	id.	. . . . .	0,67 m.
id. 1880	id.	. . . . .	0,60 m.
id. 1881	id.	. . . . .	0,53 m.
id. 1882	id.	. . . . .	0,35 m.
id. 1883	wurde die Schifffahrt nicht unterbrochen;		

und im Jahre 1884 ist sie nur unterbrochen, als die Wasser den niedrigsten Stand erreicht hatten. Das Jahr 1884 ist ein Jahr von ausserordentlich niedrigem Wasser gewesen, in welchem für das erste Mal, seit man Beobachtungen auf der Rhône macht, die Wasser unter den niedrigsten Wasserstand gefallen sind. Die Schifffahrt hat bis zu diesem äusserst niedrigen Spiegel fortfahren können; nun war im Jahre 1884 die Fahrwassertiefe beim niedrigsten Wasserstande = 0,90 m., während in 1874 sie 0,40 m. war. Mit diesem Minimum von 0,40 m. beim niedrigsten Wasserstande hob sich, wenn das Wasser um 0,80 m. emporstieg die Fahrwassertiefe bis zu 1,05 m. und Schiffe, welche noch gut mit einer Tauchung von 0,85 m. fahren könnten, waren gezwungen, anzuhalten, während sie im Jahre 1884 mit einer Fahrwassertiefe von 0,90 auf einer Schwelle und von 0,95 auf einigen anderen, diese Schwellen noch überfahren konnten. Der Vorthiel wurde so für die Schiffferei noch bedeutender, als derjenige, welchen die Vermehrung der Fahrwassertiefe zeigt, und während die Tiefe sich auf den Schwellen nur um 0,50 m. vermehrte,

so fiel der Spiegel des Wasserstandes, welcher die Schifffahrt verhinderte, um 0,80 m.

Dieses kommt, wie oben gesagt wurde, daher, dass die Richtung der Rinne auf überschwemmteren Schwellen leichter zu verfolgen ist, und folglich dass die verfügbare Tiefe benutzbarer ist.

Vom Winter 1884—1885 an sind die Sperren wegen niedrigen Wasser fast ganz verschwunden; und in diesen letzten neun Jahren hat man aus diesem Beweggrund nur einen ununterbrochenen Stillstand von im ganzen acht Tagen gesehen; und zwar muss man bemerken dass, obschon dieser Stillstand sich bei ausserordentlich niedrigem Wasser erzeugt hat, er nicht als Hauptursache die Verminderung der Fahrwassertiefe gehabt hat; die Schifffahrt ist nicht während dieser acht Tage völlig unterbrochen worden, und einige Schiffe fuhren fort, zu fahren; aber dieser Stillstand hat sich zu Beginn des Eises im Winter 1890—1891 erzeugt, und er ist besonders durch die scharfe Kälte verursacht worden; das Tauwerk gefror, was eine Schifffahrt von geringerem Interesse — da die anderen Wasserstrassen geschlossen waren, und der Zugang der Häfen in Lyon unmöglich war — sehr schwer und sehr mühsam machte.

In der Periode von 1871—1877, d. h. vor der Arbeitsausführung, war die Schifffahrt 497 Tage unterbrochen: 71 im mittleren Jahre, 111 im J. 1871, 102 im J. 1872, 145 im J. 1874.

In der ersten Periode der Arbeiten, welche sich von 1878 bis zu Ende 1884 ausdehnte, hat man 171 Stillstandtage gehabt, durchschnittlich also 24 per Jahr. Wenn die Schifffahrt mit Wassern von 0,80 m. über dem niedrigsten Wasserstand, wie vor der Arbeitsausführung, hätte aufhören sollen, so würde man 375 Stillstandtage gehabt haben, also durchschnittlich 54 per Jahr. Im Jahre 1884, als die Wasser ausserordentlich niedrig gewesen sind, hat es 44 Stillstandtage gegeben; man würde damals 145, wie im Jahre 1874, gehabt haben.

Seit dem Ende des Jahres 1884 hat man im Ganzen 23 Stillstandtage gehabt, was einen Durchschnitt von weniger als 3 Tagen per Jahr ergibt; die Sperre würde 76 Tage betragen haben, wenn man bei Wassern von 0,80 m. über dem niedrigsten Wasserstand hätte aufhören sollen; man würde 112 Tage im J. 1890 und 107 im J. 1891 gehabt haben, sei es 219 für beide Jahre zusammen welche, in der That, den letzten Stillstand von acht Tagen ergeben haben.

Im mittleren Jahre halten sich die Wasser während 66 Tage unter 0,80 m. über dem niedrigsten Wasserstand; solche wäre auch die mittlere Dauer der jährlichen Stillstände, mit welcher man noch zählen sollte, wenn die Flussregulirung nicht verwirklicht worden war. Im jetzigen Zustand dagegen, mit 1,25 m. als Minimal-Fahrwassertiefe beim niedrigsten Wasserstande, sollten die Wasser merklich unter diesem niedrigsten Wasserstand sein, um die Schifffahrt zu verhindern; nun aber bleiben die Wasser nur zwei Tage per Jahr unter diesem Spiegel; die mittlere

Dauer des möglichen jährlichen Stillstandes ist also nur von zwei Tagen im Maximum, anstatt 66 Tage; und man kann ohne Uebertreibung sagen, dass die ehemals so furchtbare Möglichkeit des Stillstandes bei niedrigem Wasser practisch fast ganz verschwunden ist.

Verminderung der anderen Schifffahrthindernisse. — Aber die Verbesserung besteht nicht nur in der Vermehrung der Fahrwassertiefe, in der Aufhebung der Sperren bei niedrigen Wassern und in der Verlängerung der Perioden mit guter Schiffbarkeit; andere weniger wichtige, aber jedoch wirkliche Ergebnisse sind erlangt worden.

Die Rinne hat sich wieder in eine rechte Lage gefügt, die Biegungen haben sich geglättet je nachdem die Tiefe auf den Untiefen vermehrte; die Schiffsmänöver haben sich vereinfacht und die Steuerung ist leichter geworden. Zugleich verlängerten sich die Abstürze, verminderten sich die Stromschnellen, und vermehrte sich die Ladung der Schiffe in ununterbrochener Weise.

Andererseits sind die meisten gefährlichen Riffe abgestumpft, und die zu niedrigen Brücken erhöht worden, so dass die Schiffahrt, deren Dauer während des niedrigen Wasserstandes bedeutend verlängert wurde, auch beim Hochwasser verlängert wurde.

Die einzigen Hindernisse, welche nicht vermindert wurden, sind also diejenigen, auf welche die Arbeiten keine Wirkung erzeugen könnten; d. h. die Nebel und der Wind, welche niemals dauernde Unterbrechungen verursachen, sondern nur einfache Verspätungen; die grossen Hochwasser welche von geringer Dauer sind und das Eis, welches sich auf der Rhône nur spät zeigt und da weniger lang, als auf den anderen Wasserstrassen dauert.

Kurze vergleichende Darstellung der Schiffbarkeitszustände vor und nach der Arbeitsausführung. — Als Schluss dieser Untersuchung ist es nützlich, in einer letzten Vergleichung die Gesamtheit der Anzeigen zu resumiren, welche die Schiffbarkeit eines Flusses bestimmen können, und so den jetzigen Zustand der Rhône mit ihrem alten Zustand zu vergleichen. Dieses geht aus der folgenden Tabelle hervor.

In dieser Tabelle hat man das Jahr in drei Perioden getheilt:

1°. Diejenige, in welcher die Schiffahrt unmöglich ist in Folge Hoch- und Niederwasser, Eis, Wind oder Nebel. Diese Periode, welche 91 Tagen war, beträgt nur noch 14 Tage.

2°. Diejenige, wo die Schiffahrt möglich, aber schwierig und kostspielig ist in Folge der Schwierigkeit der Manöver und der Verminderung der Ladungen.

Diese Periode, welche 129 Tage war, beträgt nur noch 14 Tage und die anderen Verbesserungen ausser der Fahrwassertiefe haben besonders die Schwierigkeiten vermindert.

3°. die Periode der leichten Schiffahrt, mit Vollandung, welche 145 Tage betrug; sie ist heute 337 Tage.

Vergleichende Tabelle der Schiffbarkeitszustände im mittleren Jahre.

		Vor der Arbeiten- aus- führung.	Jetziger Zustand.	Ge- winn.
Unter- brochene Schiffahrt durch	das Eis.	6	6	77
	den Wind und den Nebel.	2	2	
	die niedrigen Wasser.	66	2	
	die Hochwasser mit mehr als 4.50 über dem niedrigsten Wasserstande.	4	4	
	den Mangel an Höhe unter den Brücken.	15	—	
Schwierige Schiffahrt	Verminderung der Ladungen, Manövrir- und Steuerungsschwierig- keiten.	129	14	115
	Leichte Schiffahrt	Volladung, gute Steuerung leichte Strömungen.	143	337
		365	365	

Ehemals konnte der Zustand der Rhône sehr einfach definirt werden:  
*Drei Monate mit Stillständen, vier Monate mit Schwierigkeiten, fünf Monate mit leichter Schiffahrt.*

Heute, im Gegentheil, kan man zählen auf:

*Vierzehn Tage mit Stillständen, vierzehn Tage mit Schwierigkeiten, welche nicht so gross sind als ehemals, im Ganzen einen Monat ungefähr, und elf Monate mit leichter Schiffahrt und voller Ladung.*

Es gibt wahrscheinlich wenige Wasserstrassen, auf welchen die Gesamtheit der Zustände besser sei; das einzige bestehende Hinderniss ist die Schnelligkeit der Strömung, welche nicht weiter verändert werden kann, als es durch die Verminderung der Abstürze erlangt worden ist; sie ist wirklich bedeutend, aber sie wirkt nur auf ein einzelnes Element der Frachtsätze: das Ziehen; und sie gehört zu denjenigen, welche die Fortschritte der Mechanik jeden Tag vermindern.

Die grossen Schnelligkeiten auf der Rhône sind ausserdem von ihren grossen Gefällen und ihrer geringen Länge abhängig, und wenn die Schiffferei, welche sie ertragen soll, nicht hoffen darf, ihre Tarife so niedrig setzen zu können wie auf den Wasserstrassen ohne schnelle Strömung, so findet sie wenigstens eine einzelne Ausgleichung dieser Schwierigkeit in der

Thatsache, dass sie nicht mit den grossen Verlängerungen der Strecken zu zählen hat, welche viele solche Wasserstrassen in Beziehung auf ihre Concurrrenz-strassen darbieten.

Die wichtige Umgestaltung der Schiffbarkeitszustände der Rhône hat der Dampfschiffahrt erlaubt, ihre Ladungsfähigkeit zu verdoppeln ohne ihr Material zu vermehren und eine ganz ungewöhnliche Nutzbarkeit von fast 100 % zu erreichen. Das ehemals reichliche Material ist heute unzulänglich, um die zunehmenden Bedürfnisse des Handels zu befriedigen, und die Nothwendigkeit, es zu entwickeln, ist dringend geworden. Diese Ausbreitung wurde von zwei Ursachen verzögert; die erste war die Furcht der Kapitalisten, welche von der Art dieser Unternehmungen durch den Verfall der Schiffahrt nach der Eröffnung der Eisenbahnen und durch die Schwierigkeiten des Flusses vor der Arbeitsausführung abgeschreckt wurden; die zweite war die Ungewissheit über die Wichtigkeit und die Dauer der Verbesserungen, welche aus diesen Arbeiten sich ergeben könnten, und folglich über die Baubedingungen der neuen Schiffe, welche nöthig wurden, um daraus Nutzen zu ziehen. Beide Ursachen sind verschwunden: die erlangte Verbesserung hat erlaubt, die Frachtkosten zu vermindern und den Versendungen eine Regelmässigkeit zu geben, welche sie niemals gehabt haben; diese beiden Thatsachen haben den Verkehr auf dem Flusse wieder gehoben, und mit ihm ist das Zutrauen wieder erschienen. Andererseits, sind die Augenscheinlichkeit, die Grösse und die Erhaltung der erworbenen Ergebnisse sicher geworden, und die neuen Zustände des Flusses sind heute bestimmt und gut bekannt.

Die kleine Schiffahrt hat ihrerseits den Weg der Umbildung und Ausdehnung eingeschlagen. Ein bedeutendes neues Material ist im Bau begriffen, und man könnte, ohne Irrthum zu fürchten, die nahe und fast sichere Zeit einer grossen Entwicklung des Geschäftsverkehrs voraussagen.

Nebenvortheile, die sich aus der Arbeitsausführung ergeben. — Ausser den verwirklichten Verbesserungen für die Schiffahrt, haben die auf der Rhône ausgeführten Arbeiten mehrere Vortheile anderer Art zur Folge gehabt, welche bestimmt sind, indirecter Weise und mit der Zeit eine bedeutende Vermehrung des allgemeinen Vermögens zu erzeugen.

Auf den Theilen ihres Laufes, wo die Regulirung nicht ausgeführt wurde, vertheilt sich die Rhône in mehrere Arme und fliesst auf bedeutenden Räume frei umher; die Besichtigung der Flusskarte, welche schon seit mehr als zwanzig Jahren besteht, zeigt überall die falschen Arme und oft ein oder mehrere verlassenen Bette der Hauptrinne. An vielen Punkten erstrecken sich auf mehrere Kilometer Breite solche verlassene Räume, und wenn, sei es auf einem Ufer oder dem andern, die Rhône ihr Bett verlässt, so zerstört sie alles auf ihrem Durchlauf und lässt nur Kiesufer ohne Werth nach sich.

Auf der Nieder-Rhône, stromabwärts von Lyon, ist die Gefahr der

Zerstörungen schon seit langer Zeit bekämpft worden und ist der den Launen des Flusses überlassene Raum bedeutend eingeschränkt; der Raum, welcher denselben noch ausgesetzt war, als man die Arbeiten anfang, war noch bedeutend und konnte, in Hinsicht auf die Gefahr, sich in zwei Zonen theilen; in der einen, der entferntesten des Flusses, war die Erde bebaut, aber das Gut erlitt eine Entwerthung, weil es Gefahr lief, weggerissen zu werden; was die andere, welche sich längs des Flusses hinzog, betrifft, so bestand sie aus einem Raume, wo der Boden einen minimalen Ertrag gab, und das Land, wenn es bebaut wurde, einen ganz unsicheren Besitz bildete.

Dieser Zustand hat sich schon bedeutend verändert; überall, wo die Regulierungsarbeiten ausgeführt sind, sind die Ufer festgestellt, und das Baugut hat heute keine Verschwindungsgefahr zu fürchten. Ausserdem erzeugen sich die abgelagerten Geschiebmassen hinter den Werken, entstehen die Anschwemmungen und fängt die Vegetation an, sich zu zeigen; an gewissen Punkten ist die Umgestaltung sehr schnell gegangen, und überall findet man immer zahlreichere Pächter, welche verlangen diese neu entstandenen Gebiete zu miethen. Die Zahl dieser Pachten vermehrt sich ohne Aufhören, und es ist sehr wichtig sie zu begünstigen.

Wenn man so handelt, dass heisst wenn man für kurze Zeiten die frischen und noch durch das mittlere Wasser überspülten Anschwemmungen vermiethet, so bleibt der Staat im Stande, die Bildung dieser Anschwemmungen zu dirigiren und er kann auch vermeiden dass ihre Erhöhung durch den allgemeinen Interessen des Thales schädliche Arbeiten bewirkt werde, wie es sicher geschehen würde, wenn man das Besitzthum den Uferbewohnern überliesse.

Wenn die Befestigung der Ufer eine Wohlthat für das Gut, dessen Erhaltung sie versichert, ist, so muss man nicht die Auge davon wenden, dass diese Befestigung gemacht wurde, um die niedrigen Wasser in einem kleinen, natürlich engen, und für den Hochwasserabfluss ganz unzulänglichen Bette zu vereinigen. Und wenn die Anschwemmungen, welche sich hinter den Werken bilden, nicht in einem niedrigen Spiegel gehalten wären, welcher hinreichend ist, um die Ausbreitung der grossen Wasser und der Hochwasser zu erhalten, so würden die Höhe und die Gewalt dieser Hochwasser sehr schnell vermehren und zugleich die Erhaltung der Werke, und noch mehr die Sicherheit des Eigenthums welche deren Folge wurde, gefährden. Die dem Fluss abgerungenen Gründe müssen also in einem so niedrigen Spiegel gehalten werden, dass sie bei allen wichtigen Hochwassern überschwemmt werden können. Da sie vor den Zerstörungen geschützt sind, kann dieser Umstand sie nicht verhindern einen wirklichen Werth zu erreichen. In dem Zwischenraume der gegen den Fluss schief tauchenden Werke ausgebildet, so werden sie natürlich eine ähnliche Schiefe annehmen, und wenn die Wasser sie überschwemmen, so werden diese da nur überlaufen ohne sich aufzuhalten,

und sie werden auch, durch die geschleppten befruchtenden Elemente, die Schäden, welche sie verursachen können, reichlich ausgleichen.

Davon ist die Erfahrung auf der Rhône selbst gemacht;<sup>1)</sup> in ihrem unteren Lauf, bestehen seit schon mehreren Jahrhunderten Vertheidigungsdämme gegen die Ueberschwemmungen, welche die Ländereien vor dem Wassereinfalle schützen; Anschwemmungen haben sich zwischen diesen Dämmen gebildet; es sind sehr oft überschwemmte Ansschwemmungen welche, trotz dieses Umstandes, einen Werth erhalten haben, der manchmal grösser ist, als derjenige der nahen, gegen die Hochwasser geschützten Länder.

Auf wie viel sich der doppelte Mehrwerth belaufen wird, welcher die Folge der Arbeiren sein wird, und welcher sich, einerseits, aus der dem schon bestehenden Besitzthum gegebenen und sich auf weite Entfernungen erstreckenden Sicherheit ergeben wird und, andererseits, aus der Erschaffung neuer Ländereien von fast ebenso grosser Ausdehnung? Es ist sehr schwer, dies vorauszusehen und es wird immer schwierig sein es zu berechnen; der erstere Mehrwerth wird immer schwierig zu schätzen sein; was den zweiten betrifft, wird er durch den ganzen Werth der Ländereien neuer Bildung vorgestellt. Und wenn man bemerkt, dass der Raum, welcher auf die eine oder die andere Art von der Arbeit Vortheil ziehen wird, sich auf eine Länge von mehr als 300 Kilometer ausdehnt und mehrere Tausend Hektare umfasst, wird man erkennen dass der ganze Mehrwerth sehr bedeutend und von der nämlichen Wichtigkeit, wie die Kosten der Arbeiten selbst sein wird.

#### § 5. — Ausgaben.

Die durch das Gesetz vom 13<sup>ten</sup> Mai 1878 bestimmte Ausgabe belief sich auf 45 Millionen Franken und fand ihre Anwendung auf die Regulierungsarbeiten, sowie auf eine gewisse Zahl Nebenunternehmungen, welche zur Verbesserung der Rinne selbst nicht gehören. Die jetzigen gemachten Ausgaben für die Gesammtheit der in dem Vorproject begriffenen Arbeiten belaufen sich auf fr. 39.500.000; man kann also sicher sein, dass die Regulirung in den Grenzen der bestimmten Ausgaben zu Ende geführt werden wird. Wenn man von den ganzen Ausgaben, welche wir soeben angegeben haben, diejenigen der Arbeiten abzieht, welche nicht die eigentliche Regulirung betreffen, bleibt für die jetzige Ausgabe dieser Regulirung eine Summe von fr. 36.900.000, d. h. für die 324 Kilometer, auf welche sie sich bezieht, eine Ausgabe von fr. 114.000 per Kilometer, welche sich am Ende der Arbeitsausführung auf fr. 120.000 oder fr. 125.000 belaufen wird. Solche Ausgabe, die weniger gross ist, als diejenige, welche jede andere Regulierungsmethode zur Folge gehabt hätte, wäre noch geringer gewesen, wenn man am Anfange die Methoden gekannt hätte, welche sich nach und nach ausgebildet haben und aus

der Erfahrung selbst der ersten Arbeiten und den Beobachtungen aller Ingenieure, welche zu ihrer Führung beigetragen haben, hervorgegangen sind.

Man muss in der That bemerken, dass bis zum Jahre 1882 man nur das Regulirungssystem durch Parallelwerke, welche den Normalschnitt begrenzen, angewandt hat, deren sehr umständliche Entwürfe oft lange und kostspielige Berichtigungen verursachten. Es war erst im Jahre 1882, dass man die ersten Versuche auf einen andern Weg machte, und es ist erst seit dem Jahre 1884, dass die erworbene Erfahrung erlaubt hat, schliesslich das System anzunehmen, welches wir beschrieben haben, und welches, mit einer viel wenigeren Veränderung der natürlichen Gestalten, auch nur geringere Anstrengungen und weniger kostbare Arbeiten erfordert.

Die Vergleichung der während beider Perioden gemachten Ausgaben mit den erzielten Ergebnissen zeigt vollkommen die Sparsamkeit der zweiten Methode.

Die graphischen Zeichnungen des Zustandes der Untiefen vor 1878 und im Jahre 1884 zeigen die Fortschritte in diesem ersten Zeitraume; die entsprechende Ausgabe der Regulirungsarbeiten ist rund 32,500,000 fr. gewesen.

Die Vergleichung der graphischen Zeichnungen von 1884 und 1893 zeigt die vollkommenen Fortschritte in dieser zweiten Periode; die Ausgabe für die Regulirungsarbeiten hat 4,400,000 fr. betragen.

Sicher ist die Ersparniss, welche man dieser Veränderung des Verfahrens verdankt, geringer als die Verschiedenheit zwischen diesen Zahlen, weil viele Werke der ersten Periode zu dem Fortschritte beigetragen haben, aber man hat andererseits viele Werke verändern und sogar noch eine ziemliche Zahl niederreissen müssen, besonders die meisten Dämme des convexen Ufers.

Wie dem auch sei und ohne Zahlen zu bestimmen, folgt klar aus dieser Vergleichung, dass die Verschiedenheit der Ausgabe zwischen beiden Methoden sehr bedeutend ist; und man kann versichert sein, in derjenigen, welche sich am meisten den Gesetzen des Abflusses in den Flüssen mit beweglichem Boden unterwirft, nicht nur grössere Erfolge und die Möglichkeit einer vollständigeren Verbesserung zu finden, sondern auch eine grosse Ersparniss. Nach der grossen Erfahrung, wovon wir gesprochen haben, glauben wir fest, dass Arbeiten dieser Art, handele es sich um die Verbesserung der Schifffahrt oder nur um die Befestigung der Ufer und die Beschützung der Gelände, nur ein wenig Beobachtung, viele Geduld und scharfen Verstand erfordern, aber dass sie sehr gemässigte Ausgaben verursachen.



# Inscriptions des Planches.    Inschriften der Zeichnungen.    Description of the Plates.

## PLANCHES I & II.

Regularisation entre . . . .  
 Profils comparatifs dans l'étendue  
 du canal.  
 Fond du lit.  
 Altitudes rapportées au nivellement  
 général de la France.  
 Plan de la plaine de Miribel avant  
 l'exécution du canal.  
 Plan actuel du Canal de Miribel.

Profil en long comparatif entre le  
 confluent de l'Ain et Lyon.

Passage.

## PLANCHES III & IV.

Epis plongeants.    }  
 „ noyés.            }  
 Atterrissement.

## PLANCHES V & VI.

Digue de halage.  
 Carrière.  
 Eglise.  
 (Pour les autres inscriptions, voir  
 les traductions „Planches I—VI“.)

## PLANCHES VII & VIII.

Graviers.  
 Ruisseau.  
 Moulin.  
 Route nationale.  
 Seuils de fond.  
 (Pour les autres inscriptions, voir  
 les traductions „Planches I—VI“.)

## PLANCHES IX—XII.

Château.  
 (Pour les autres inscriptions, voir  
 les traductions „Planches I—VII“.)

## BLATT I U. II.

Regulirung zwischen . . . .  
 Vergleichende Profile in der Kanal-  
 länge.  
 Sohle.  
 Wasserstände, bezogen auf die allge-  
 meine Nivellirung in Frankreich.  
 Plan der Ebene von Miribel vor  
 Ausführung des Kanales.  
 Plan des nunmehrigen Kanales von  
 Miribel.

Vergleichendes Längsprofil zwischen  
 dem Einfluss des Ain und Lyon.

„Pass“.

## BLATT III U. IV.

Untergetauchte Buhnen.  
 Anschwemmung.

## BLATT V U. VI.

Leinpfaddamm.  
 Steinbruch.  
 Kirche.  
 (Die übrigen Inschriften siehe unter  
 Uebersetzungen zu Blatt I—VI.)

## BLATT VII U. VIII.

Grand.  
 Bach.  
 Mühle.  
 Landstrasse.  
 Bodenerhebungen (Untiefen).  
 (Die übrigen Inschriften siehe unter  
 Uebersetzungen zu Blatt I—VI.)

## BLATT IX—XII.

Schloss.  
 (Die übrigen Inschriften sind unter  
 den Uebersetzungen zu Blatt  
 I—VIII zu finden.)

## PLATES I AND II.

Regulation between . . . .  
 Comparative sections in the length  
 of the canal.  
 Bottom of the bed.  
 Altitudes brought to the general  
 levelling of France.  
 Projection of the plain of Miribel  
 before the making of the canal.  
 Projection of the Miribel Canal.

Comparative longitudinal section  
 between the confluence of the Ain  
 and Lyon.

Passage.

## PLATES III AND IV.

Submerged groins.  
 Alluvial deposit.

## PLATES V AND VI.

Towing dike.  
 Quarry.  
 Church.  
 (For other references, see transla-  
 tions under Plates I—VI.)

## PLATES VII AND VIII.

Gravel.  
 Stream.  
 Mill.  
 High road.  
 Ridges in the bottom.  
 (For other references see transla-  
 tions under Plates I—VI.)

## PLATES IX—XII.

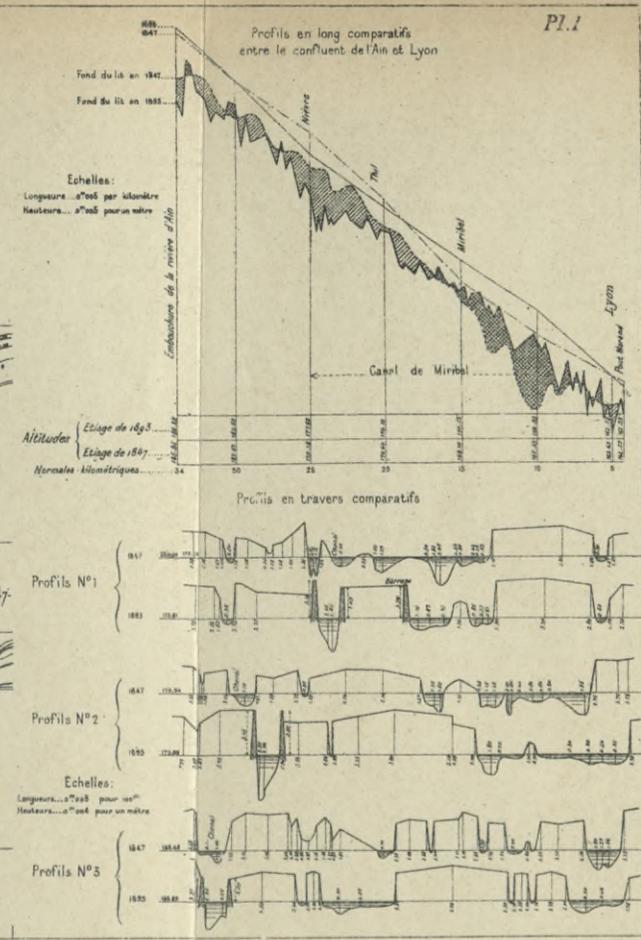
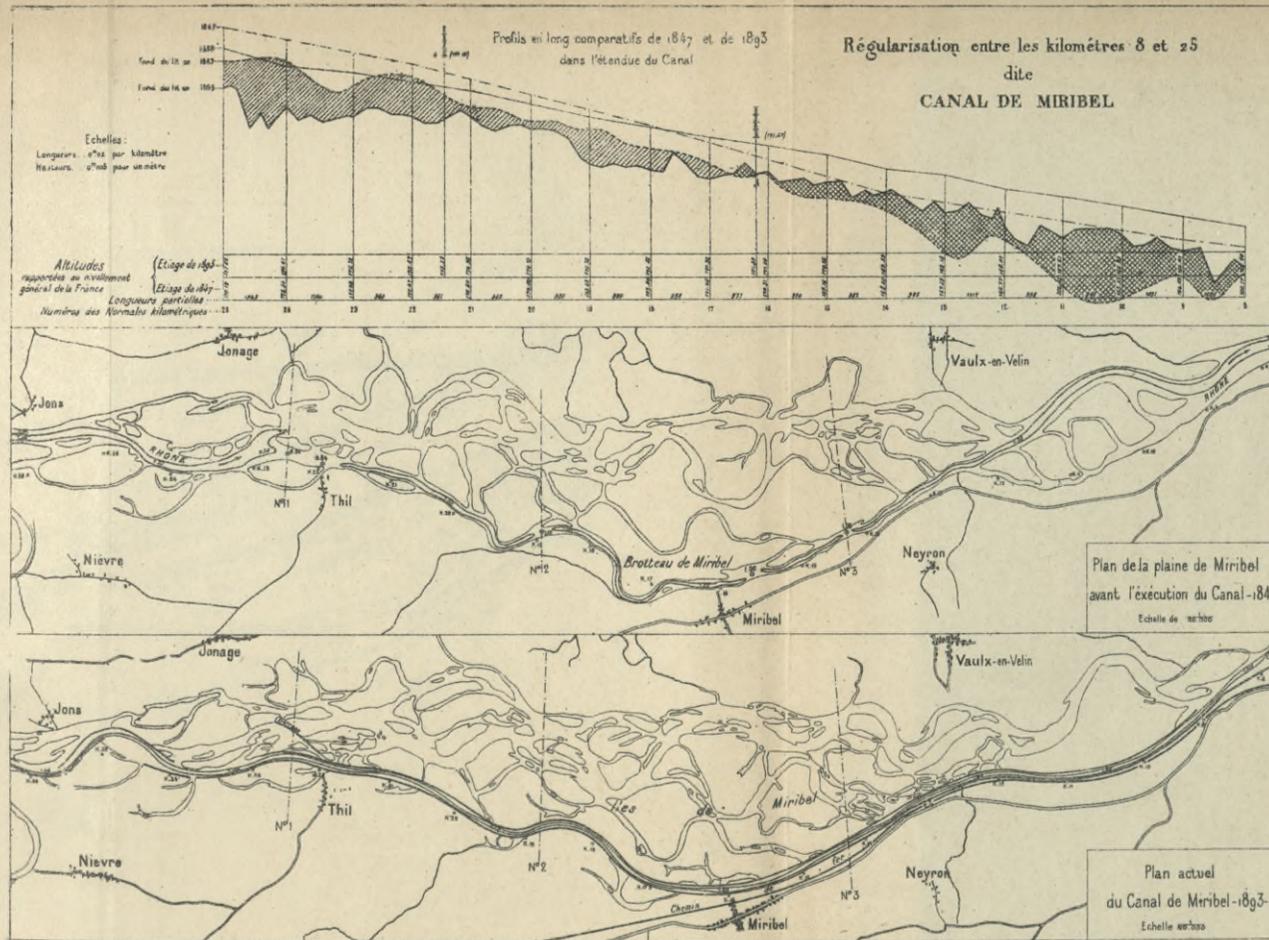
Castle.  
 (For other references, see transla-  
 tions under plates I—VIII.)

*Inscriptions souvent répétées.**Häufig vorkommende Inschriften.**Words frequently repeated.*

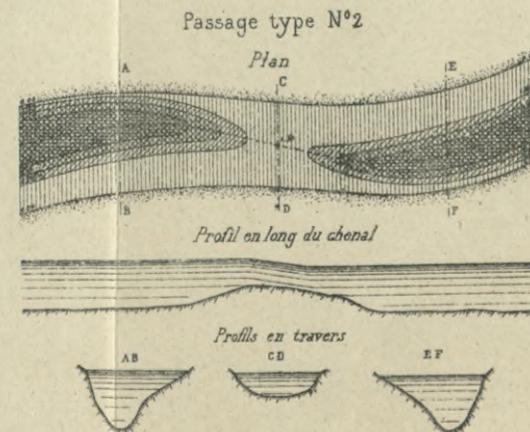
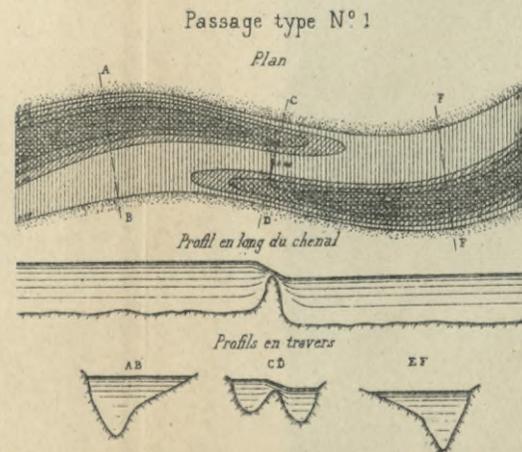
Altitudes.	Wasserstände.	Altitude.
Chenal.	Fahrinne.	Channel.
Comparatif.	Vergleichend.	Comparative.
Digue.	Damm, Deich.	Dike, dam.
Echelle.	Maasstab.	Scale.
Epis.	Buhnen.	Groins.
Etiage.	Niedrigster Sommerwasserstand.	Low water.
Hauteur.	Höhe.	Height.
Insubmersible.	Unüberschwembar.	Insubmersible.
Longueur.	Länge.	Length.
Longueurs partielles.	Theilweise Längen.	Partial lengths.
Normales kilométriques.	Kilometrische Normallinien.	Normal lines 1 km. in length.
Perré.	Steindamm.	Stone dam.
Profil en long.	Längsprofil.	Longitudinal section.
"    "    travers.	Querprofil.	Transverse    "
Traverse.	Querbuhrne, Querdamm.	Cross-dike.





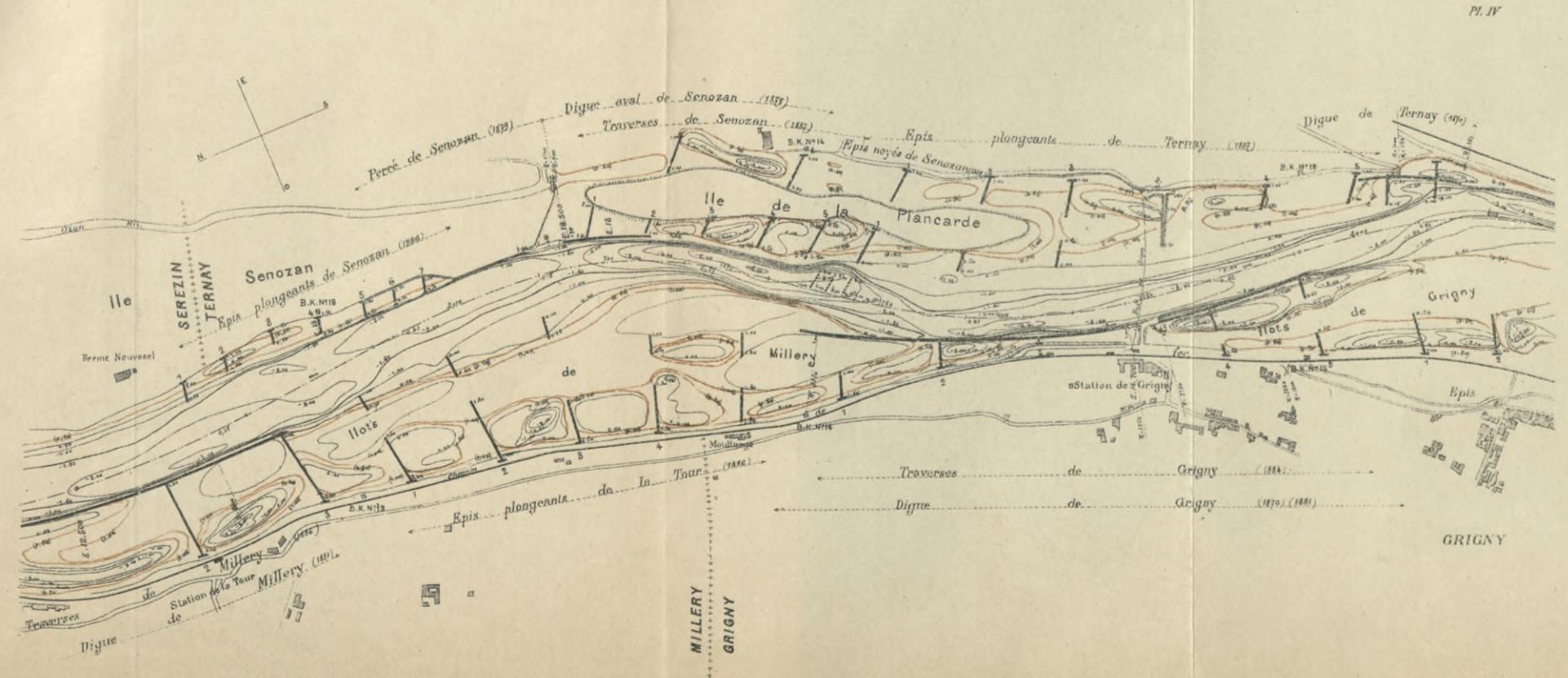
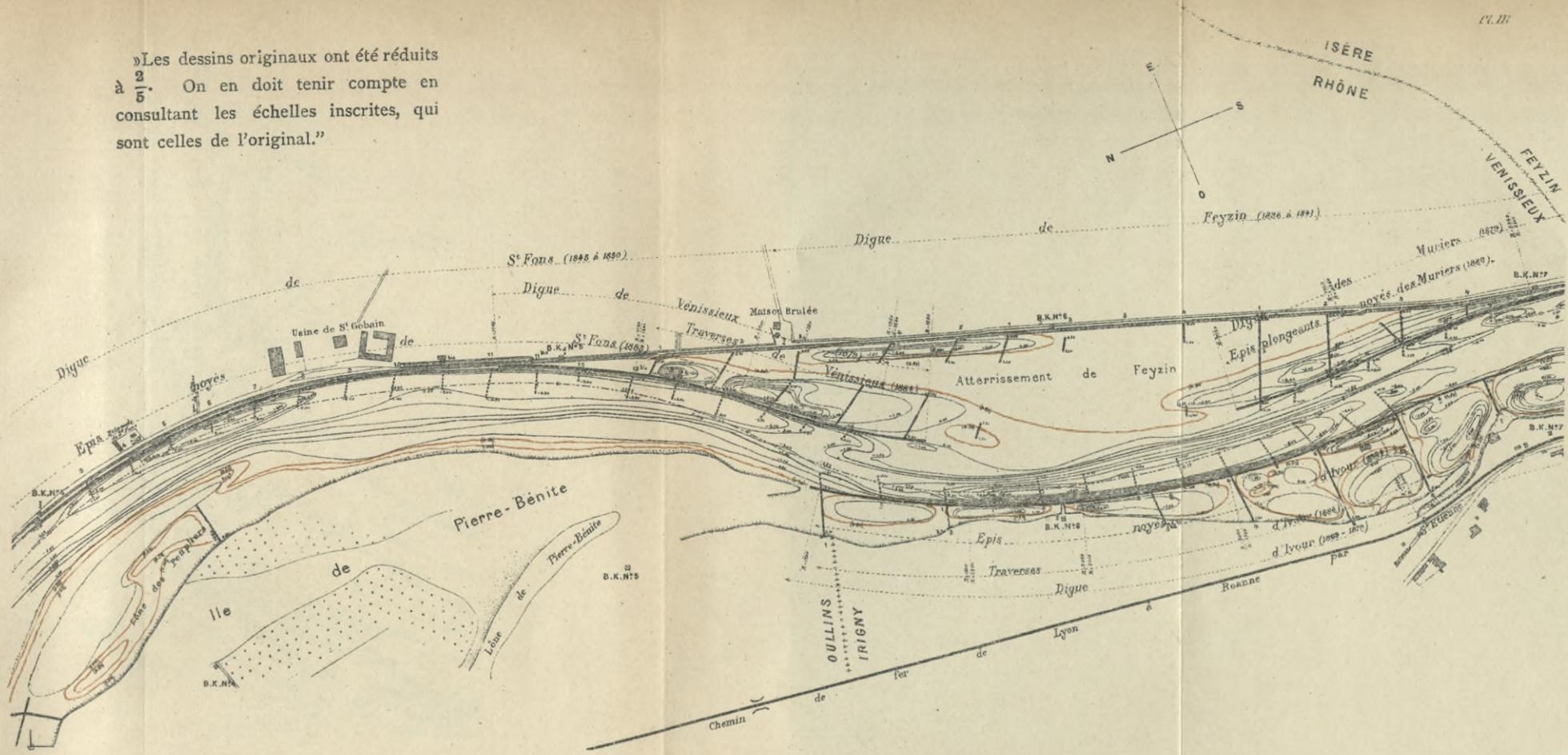


»Les dessins originaux ont été réduits à  $\frac{2}{5}$ . On en doit tenir compte en consultant les échelles inscrites, qui sont celles de l'original.»



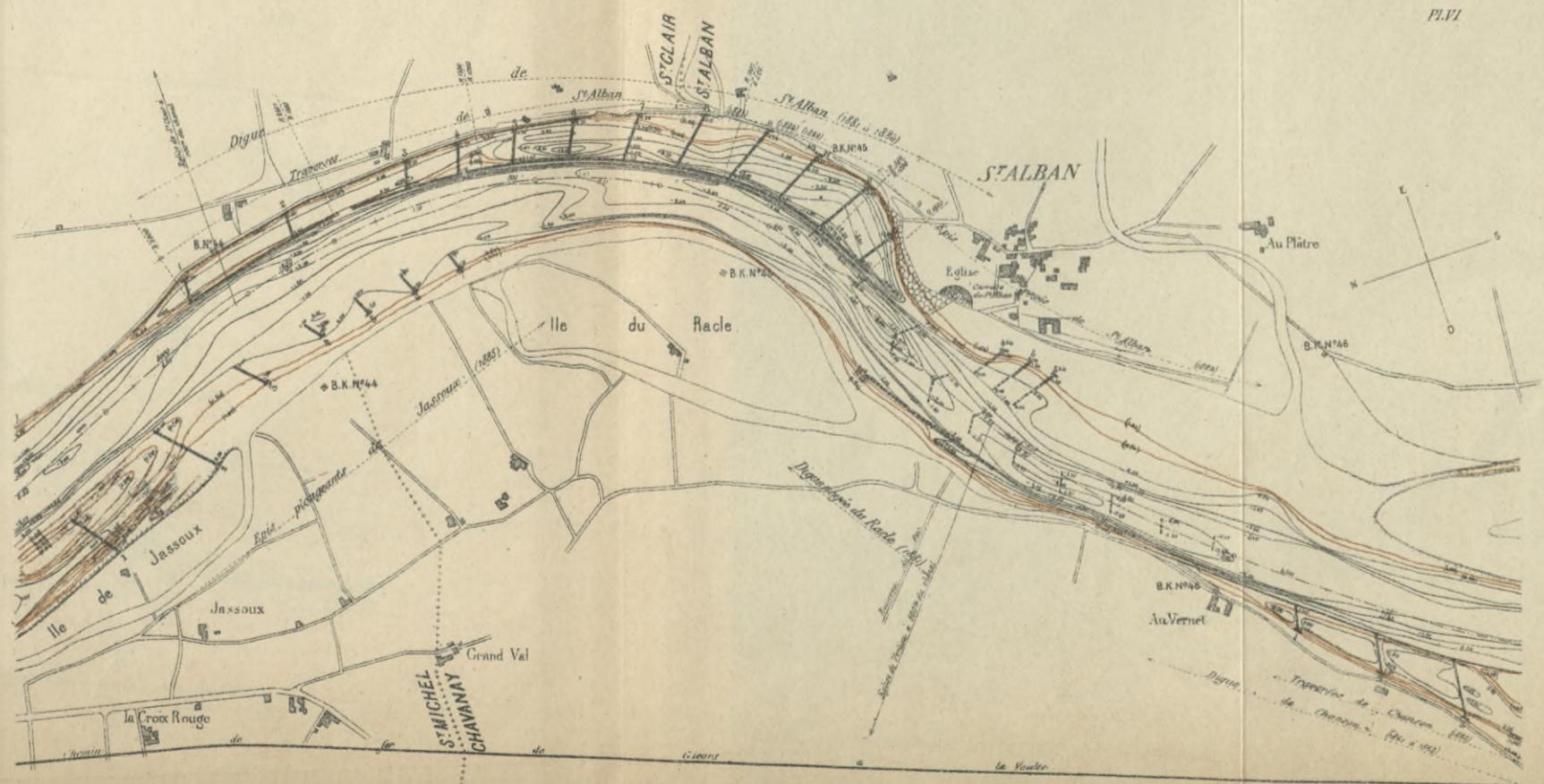


»Les dessins originaux ont été réduits à  $\frac{2}{5}$ . On en doit tenir compte en consultant les échelles inscrites, qui sont celles de l'original.»



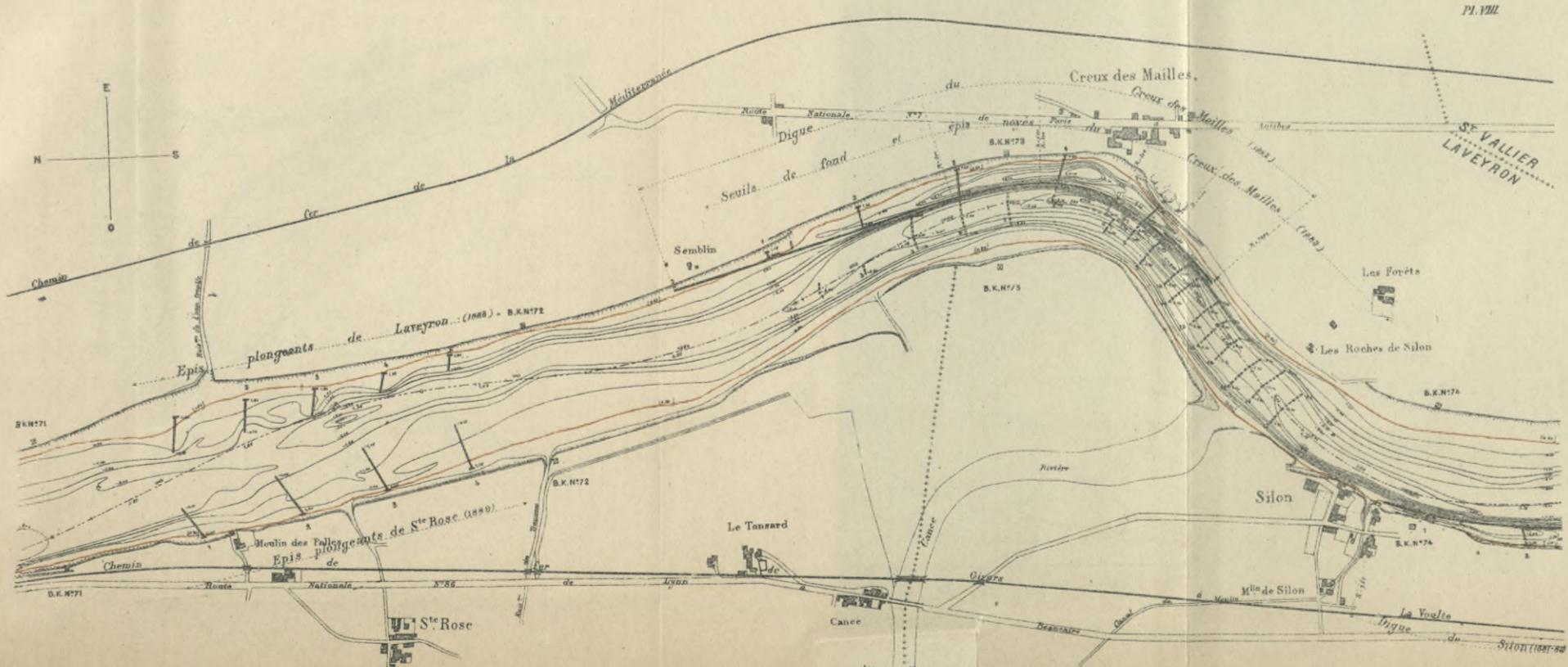
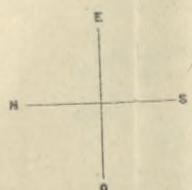
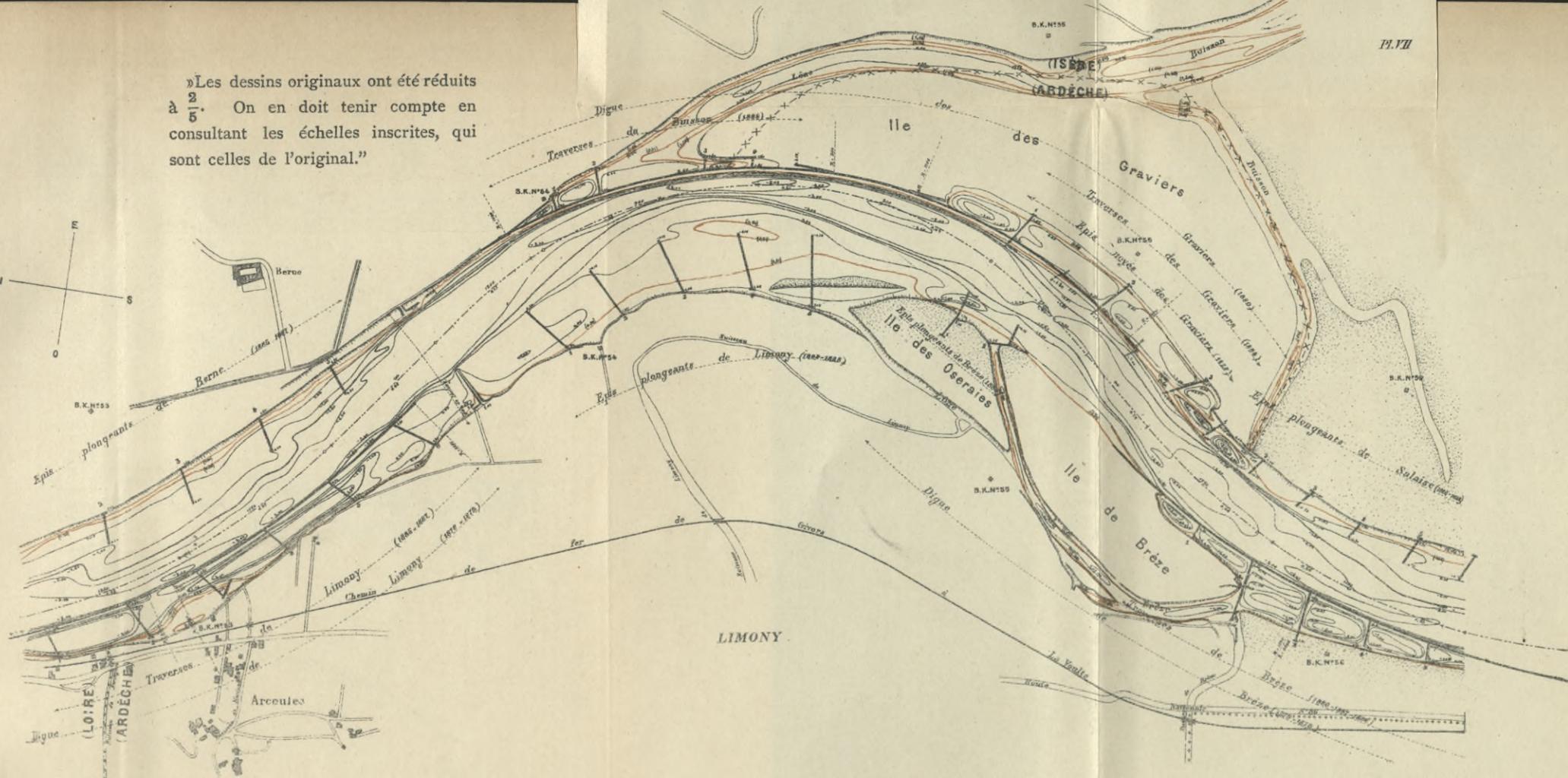
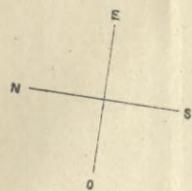


»Les dessins originaux ont été réduits à  $\frac{2}{5}$ . On en doit tenir compte en consultant les échelles inscrites, qui sont celles de l'original.»

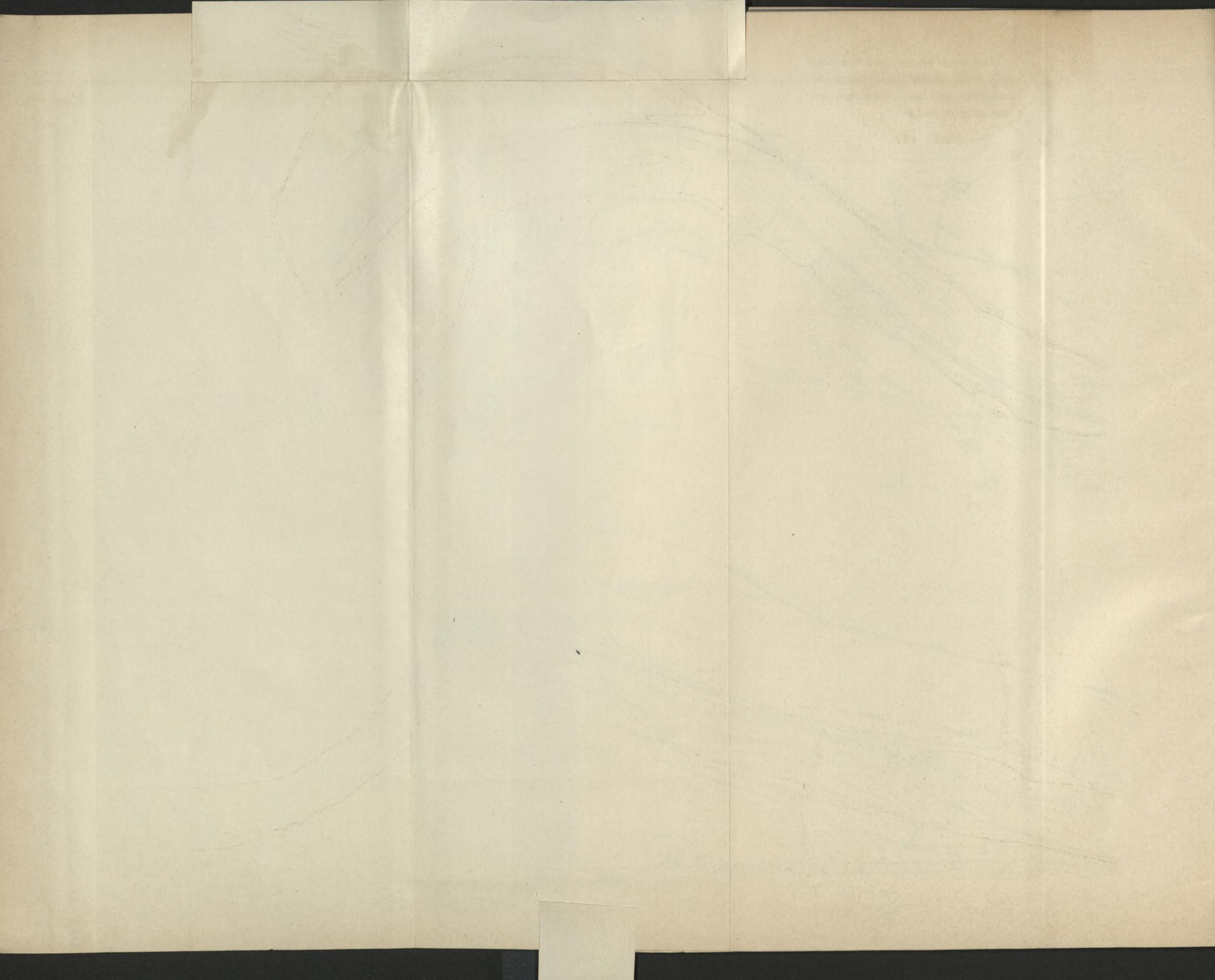


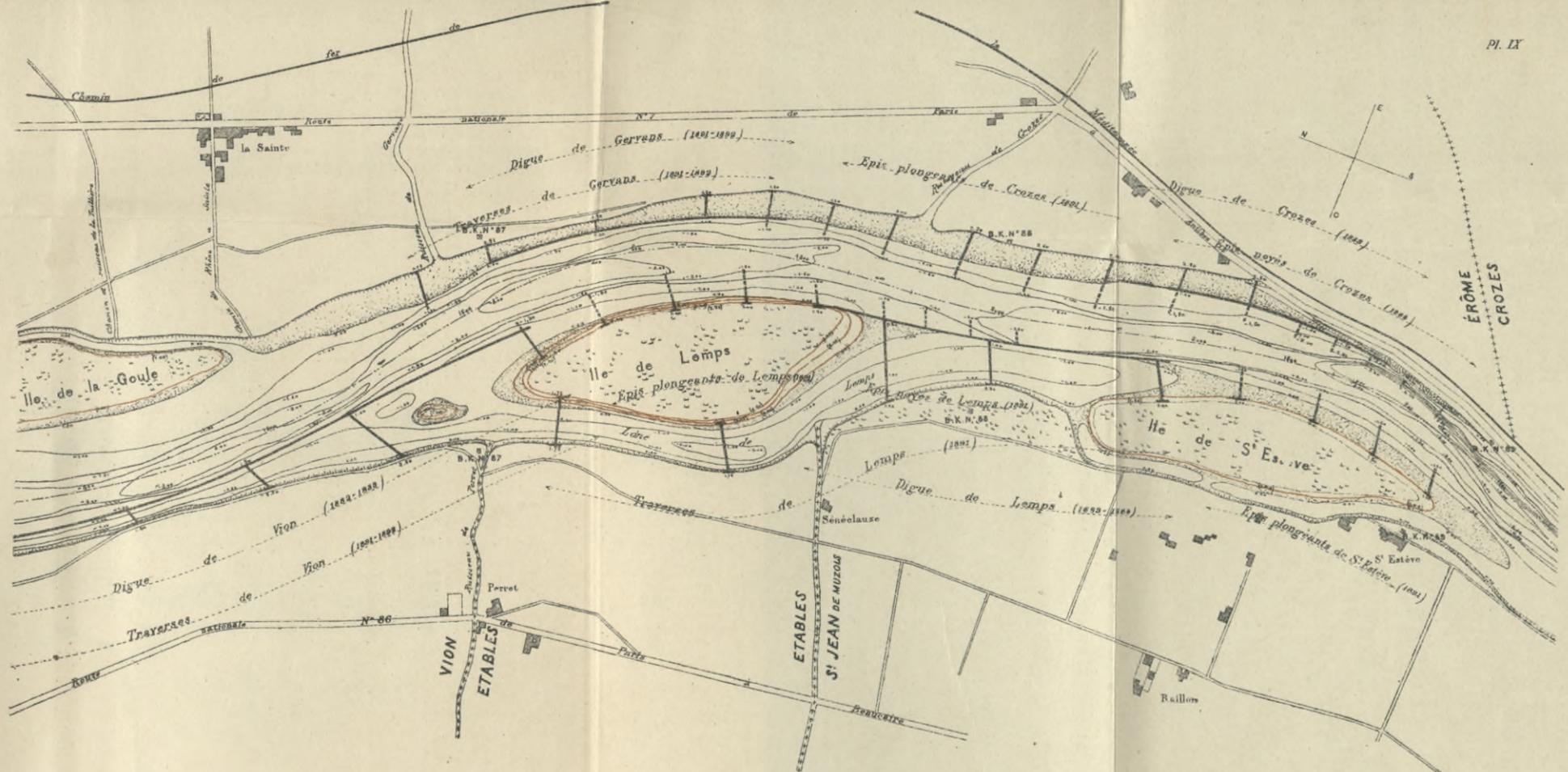


»Les dessins originaux ont été réduits à  $\frac{2}{5}$ . On en doit tenir compte en consultant les échelles inscrites, qui sont celles de l'original.»

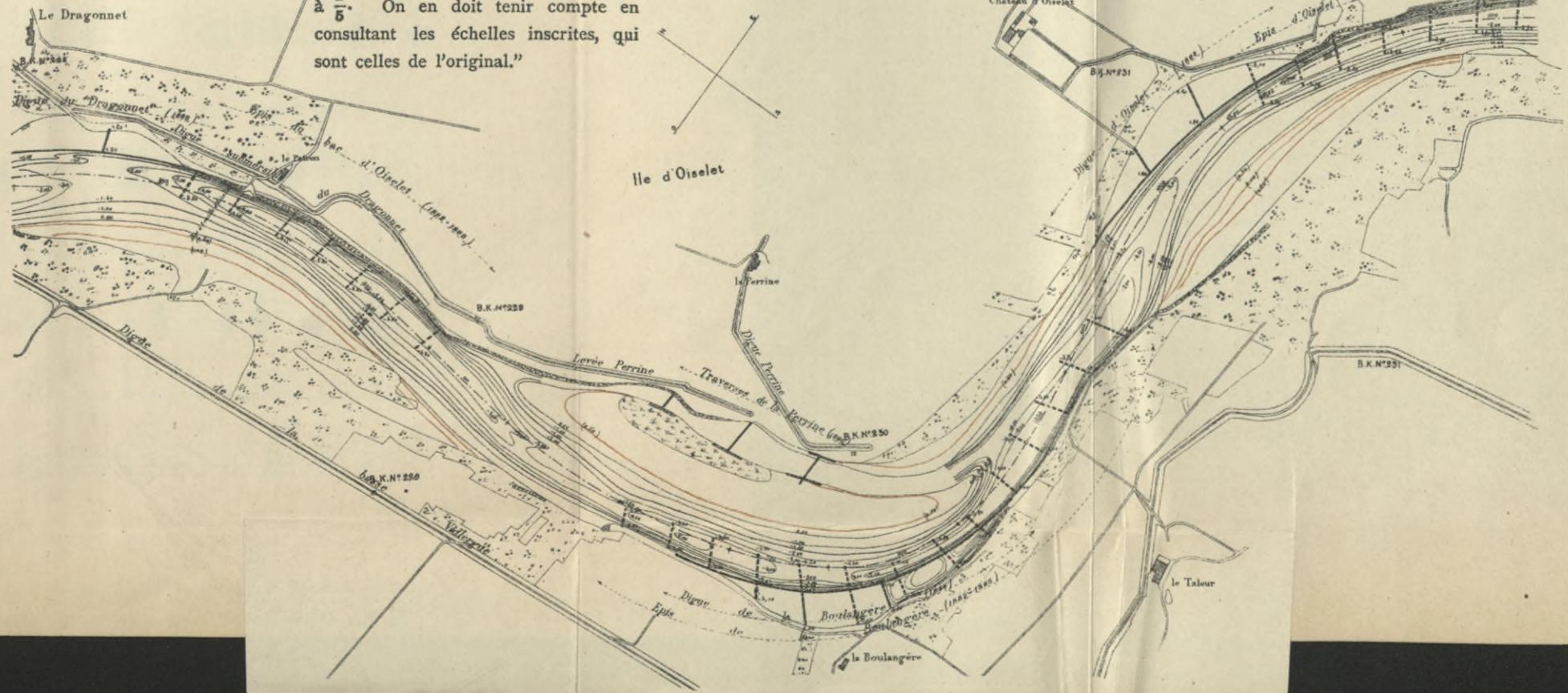


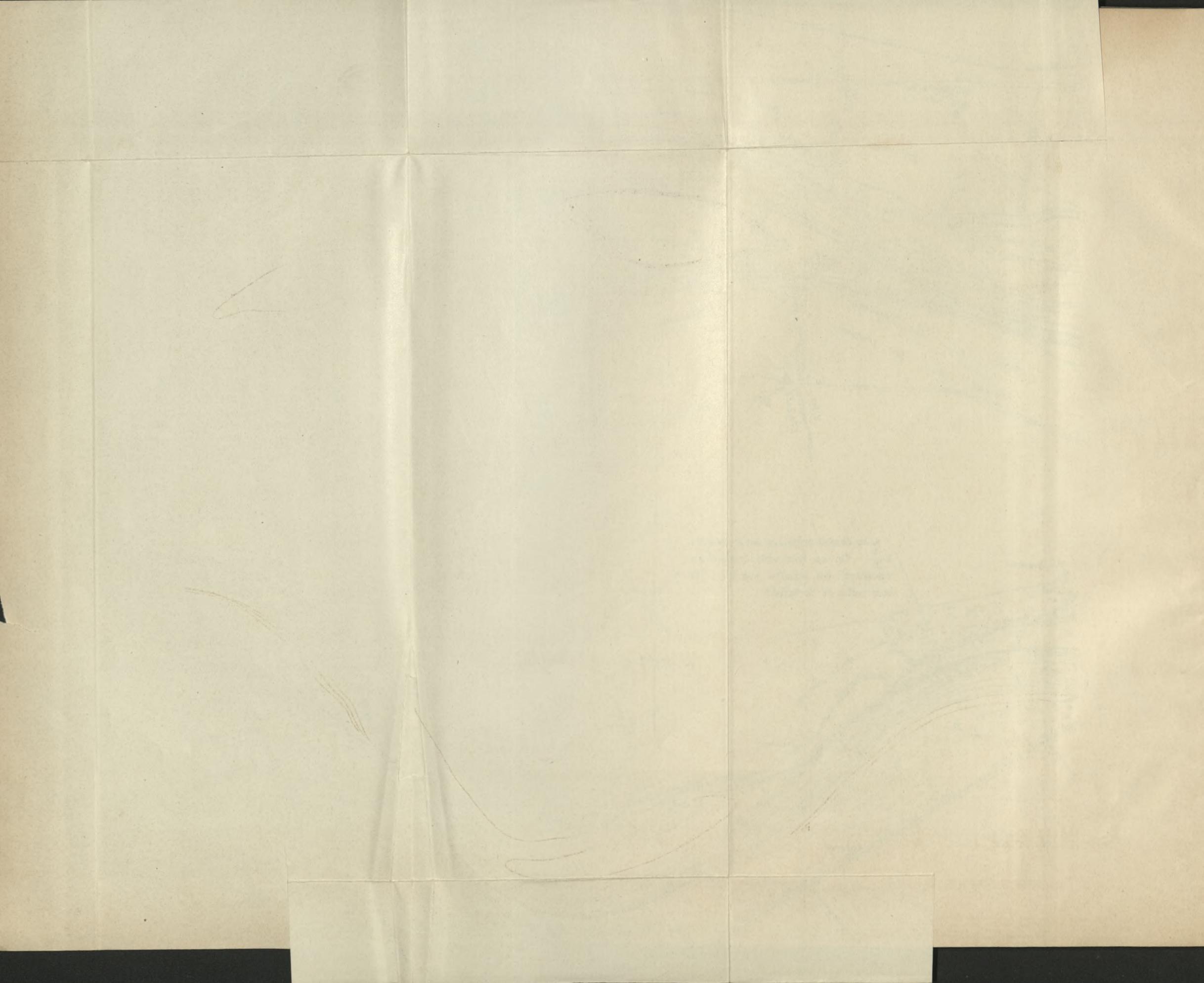
ANDANCE  
SARRAS

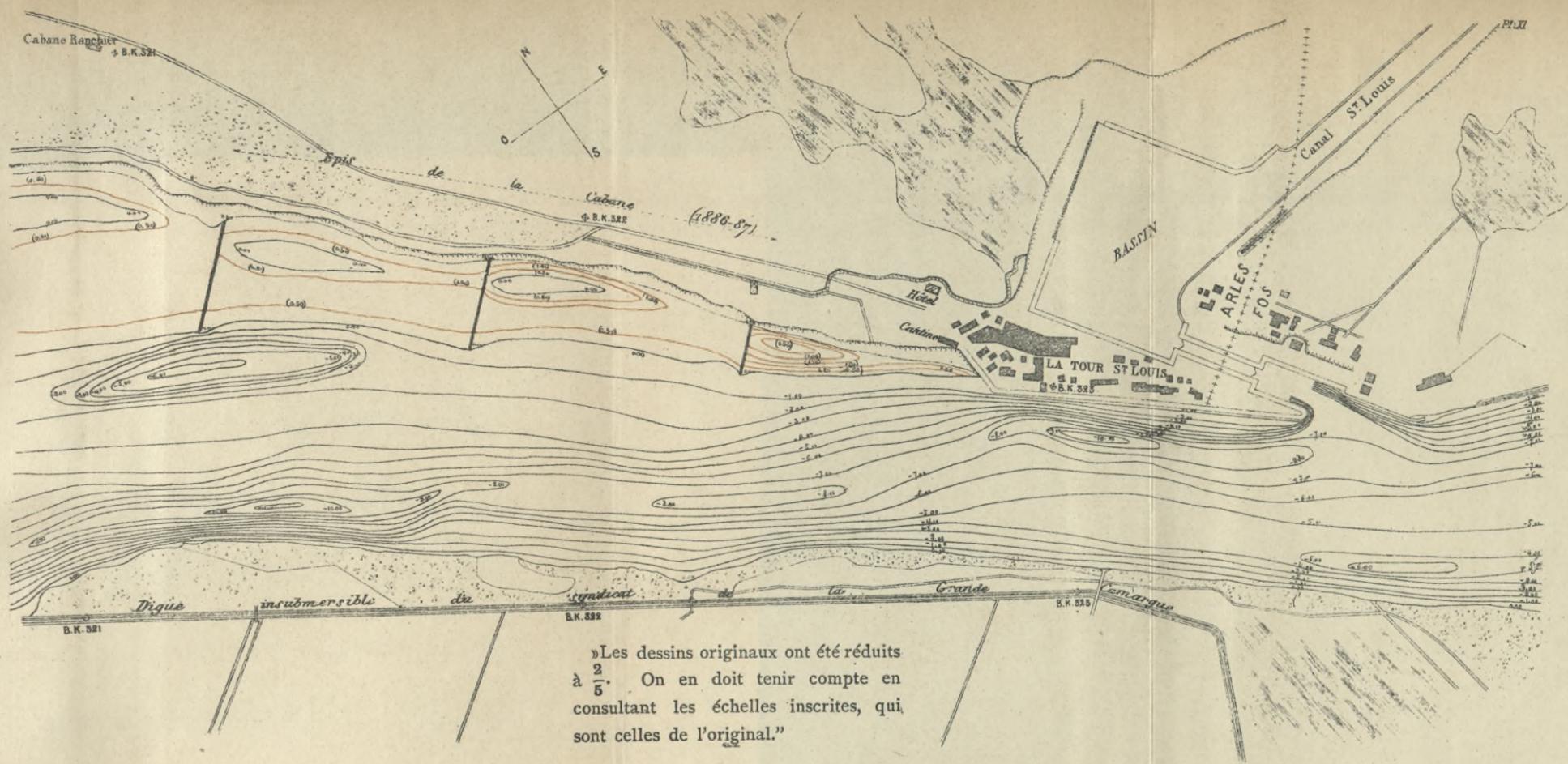




»Les dessins originaux ont été réduits à  $\frac{2}{5}$ . On en doit tenir compte en consultant les échelles inscrites, qui sont celles de l'original.»







» Les dessins originaux ont été réduits à  $\frac{2}{5}$ . On en doit tenir compte en consultant les échelles inscrites, qui sont celles de l'original. »

