

La correction du Rhin dans les cantons de Saint-Gall et des Grisons

Autor(en): **Fraisse, W.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes**

Band (Jahr): **5 (1879)**

Heft 3

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-6900>

Nutzungsbedingungen

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

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

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

Haftungsausschluss

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

BULLETIN

DE LA SOCIÉTÉ VAUDOISE

DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

PARAISSANT 4 FOIS PAR AN

Prix de l'abonnement annuel : pour la SUISSE, 3 fr.; pour l'ÉTRANGER, 3 fr. 50 cent.

Pour les abonnements et la rédaction, s'adresser à M. Georges Bridel éditeur, place de la Louve, à Lausanne.

Sommaire : La correction du Rhin (avec trois planches), par M. W. FRAISSE, ingénieur. — Rapport sur le concours de projet des casernes de Lausanne, par M. LOCHMANN, ingénieur. — Correspondance.

LA CORRECTION DU RHIN

DANS LES CANTONS DE SAINT-GALL ET DES GRISONS

par M. W. FRAISSE, ingénieur.
inspecteur fédéral de la correction du Rhin.

AVANT-PROPOS

Le 24 juillet 1862, les chambres fédérales adoptèrent un décret par lequel la Confédération suisse, faisant une première application de l'art. 21 de la constitution fédérale, allouait une subvention importante aux cantons de Saint-Gall et des Grisons pour aider aux travaux nécessaires à la correction du Rhin entre le pont de Tardis et le lac de Constance.

Dès ce moment, les travaux ont été entrepris et poursuivis avec persévérance dans les deux cantons, malgré les dépenses onéreuses qui en étaient la conséquence pour les populations locales et surtout malgré les déceptions qu'elles ont éprouvées par les inondations qui sont survenues avant l'achèvement des ouvrages.

Dans la même année, les chambres votèrent encore une subvention analogue pour aider au canton du Valais à entreprendre la correction du Rhône, et cinq ans plus tard un nouveau subsidé de 5 000 000 de francs fut voté en faveur de la correction des eaux du Jura, à entreprendre par les cinq cantons de Berne, Fribourg, Vaud, Neuchâtel et Soleure.

Les travaux du Rhin et ceux du Rhône touchent aujourd'hui à leur terme, au moins dans les limites prévues par les décrets qui les concernent, et quant à ceux de la correction des eaux du Jura, ils ont atteint en août 1878 leur point culminant par le détournement de l'Aar dans le lac de Biemme. Quelques années leur sont cependant encore nécessaires pour achever et régulariser les nouveaux cours d'eau et les ouvrages qui en sont la conséquence.

En ce qui concerne le Rhin, la subvention votée en 1862 a été augmentée par un nouveau décret du 16 août 1878, en raison de l'augmentation des dépenses auxquelles on a été entraîné. Hâtons-nous de le dire, cette augmentation est due à deux causes bien indépendantes des administrations et même des hommes. L'une est l'augmentation générale qui s'est produite dans toute l'Europe occidentale sur les prix de la main-

d'œuvre par suite de causes politiques ou économiques dont la Suisse a subi le contre-coup; ce qui devait se faire sentir surtout dans des travaux qui, par leur nature, sont essentiellement de la main-d'œuvre et ont employé des milliers de bras, pendant un grand nombre d'années. L'autre cause est due aux inondations désastreuses survenues en 1868 et 1871, alors que les ouvrages étaient loin d'être assez avancés pour protéger la contrée. Il en est résulté, outre la destruction de bien des digues antérieures, qu'on espérait conserver, la nécessité reconnue de donner plus d'ampleur et de consistance aux ouvrages encore à faire. Ces deux causes principales et imprévues, agissant sur une étendue de plus de soixante kilomètres, ont acquis une importance très sérieuse pour la dépense. Les travaux prévus par le décret qui alloue un supplément de subvention sont maintenant achevés, car le canton de Saint-Gall, tout en formulant sa demande en 1875, a fait poursuivre les ouvrages et a pris des mesures pour faire les avances nécessaires, afin de ne pas laisser l'endigement inachevé et le pays exposé à de nouvelles inondations, s'il survenait une nouvelle grande crue du fleuve.

Dans le canton des Grisons, les ouvrages ne sont pas encore achevés, mais le seront prochainement; ce qui est d'autant plus dans l'intérêt de la portion de rive qui le concerne que l'entretien à l'avenir de tous les ouvrages retombe à la charge exclusive des administrations locales, cantons et communes, selon les termes du décret fédéral.

Le moment paraît donc opportun pour résumer les principales circonstances de cette grande et utile entreprise de la nouvelle confédération. Déjà, au commencement de l'année 1868, j'ai essayé, dans une notice rendue publique, de faire connaître ces travaux¹; mais, quoique en bonne voie d'exécution, ils étaient encore loin de leur achèvement, et surtout ils n'avaient pas subi l'épreuve des deux inondations dont j'ai parlé. Aujourd'hui je puis être plus complet et rendre compte de toutes les principales circonstances qui se sont produites jusqu'à ce jour.

Cette première notice était le résumé de deux conférences qui m'avaient été demandées à Lausanne sur ce sujet, qui préoccupait à bon droit l'opinion publique; mais depuis cette époque et jusqu'au moment actuel bien des expériences ont été faites, des observations recueillies, des modifications introduites; de plus, les procédés des ingénieurs ont été l'objet des

¹ Notice sur la correction du Rhin en Suisse, brochure in-4, Georges Bridel éditeur, Lausanne.

discussions des hommes de l'art et du public; quelquefois même, ils ont été l'objet de discussions passionnées ou intéressées. A ce point de vue aussi, le moment paraît opportun pour faire connaître les circonstances diverses qui ont pu exercer quelque influence sur les travaux et sur les méthodes employées. Ces explications sont disséminées dans les nombreux rapports qui ont été écrits dès l'origine, et par lesquels j'ai rendu compte chaque année à l'administration fédérale de tout ce qui concernait l'entreprise; mais nul ne pourrait avoir la patience de les y chercher au milieu d'une multitude de notes et de chiffres qui n'ont eu qu'une importance momentanée. Cependant, il y a un intérêt technique à les faire connaître. D'ailleurs, les systèmes et les méthodes changent et varient d'un fleuve à un autre, d'une époque à une autre.

Les résultats obtenus sur le Rhin seront jugés plus tard par la génération qui va suivre. Il ne sera donc pas sans utilité, pour les hommes qui mettront quelque intérêt à ces questions hydrotechniques, de connaître dans quelles conditions ces travaux ont été entrepris et exécutés. Les fautes mêmes peuvent devenir des enseignements utiles pour ceux qui auront à s'occuper de travaux analogues. Aucun ingénieur sérieux ne peut se flatter d'avoir acquis le dernier mot de la science, tant les conditions de chaque pays ou de chaque fleuve diffèrent souvent de l'un à l'autre. Toute expérience faite un peu en grand peut donc être utile à bien connaître. D'ailleurs, les hommes changent et disparaissent. Déjà plusieurs de ceux qui ont pris une part active et utile au commencement de l'entreprise sont descendus dans la tombe, d'autres sont éloignés ou vieillissent; les souvenirs s'effacent ou se confondent; l'importance de l'entreprise est cependant bien de nature à mériter quelque attention de la part du public suisse.

C'est dans ce sentiment que j'entreprends ce travail. Appelé par le haut conseil fédéral à exercer en son nom la surveillance qu'il s'est réservée par le décret de 1862, j'ai dû visiter chaque année, et plusieurs fois par année, tous les travaux exécutés jusqu'à ce jour; j'ai eu sous les yeux tous les plans et devis, j'ai examiné tous les comptes annuels, et ainsi j'ai pris quelque part à toutes les phases de l'entreprise. J'ose donc espérer que je ne serai pas jugé trop présomptueux si je viens aujourd'hui, à la fin de ma carrière, essayer de retracer les circonstances qui ont accompagné ces travaux et ont pu exercer quelque influence sur leur exécution.

Depuis la date du décret allouant une subvention, les travaux n'ont pas été suspendus et ils ont pris dans certaines années une importance considérable. Il y a eu cependant quelques perturbations dans leur marche. C'est ainsi que les inondations de 1868 et 1871 ont modifié la marche normale et ont imposé des mesures nouvelles. D'un autre côté, en juillet 1874, le canton de Saint-Gall a eu à déplorer la mort de son ingénieur en chef, M. Hartmann, qui depuis longtemps était à la tête de cette entreprise et lui était si utile. Cette perte regrettable a été la cause d'une modification administrative dans la direction des travaux en même temps que dans le personnel chargé de les continuer.

En essayant d'exposer les principales circonstances de la correction du Rhin et tout en évitant de parler de bien des détails qui n'ont eu qu'une importance toute passagère, je mets d'autant plus d'intérêt à bien faire connaître les conditions qui se sont imposées dans ces travaux que, par une coïnci-

dence bizarre, le gouvernement fédéral a été appelé à subventionner presque en même temps deux grandes entreprises, celle du Rhin et celle du Rhône, qui sont à peu près d'égale importance et qui sont exécutées dans deux systèmes hydro-techniques parfaitement différents: le système longitudinal et le système orthogonal.

La correction du Rhin sur plus de soixante-trois kilomètres de son cours, celle du Rhône sur plus de cent kilomètres, sont des exemples à consulter par tous les hydrauliciens, et le succès des endiguements exécutés sur le Rhône mérite une attention sérieuse. Nulle part à ma connaissance ce système orthogonal n'a été appliqué aussi en grand et aussi régulièrement. Cette coïncidence m'imposera donc de dire quelques détails à ce sujet et d'appeler l'attention des lecteurs sur les motifs de ces deux méthodes.

Je tiens aussi à rappeler les deux grandes inondations de 1868 et 1871, qui ont nécessité de nouvelles dépenses et ont dépassé tout ce qui était connu auparavant sur le débit du fleuve. Les enseignements qui en découlent ne doivent pas être négligés ou laissés en oubli. Enfin, les discussions publiques qui ont eu lieu sur ces ouvrages, les mémoires qui ont paru sur ce sujet, méritent quelque attention.

Telles sont les circonstances qui m'engagent à publier cette nouvelle notice.

Je dois ajouter que dès son origine l'entreprise a été soutenue par les autorités cantonales et par les populations avec une persévérance intelligente et parfois avec une énergie réjouissante, malgré les charges qui en résultaient pour les contribuables et les déceptions qui auraient découragé des hommes moins dévoués aux vrais intérêts du pays et du bien public.

RÉSUMÉ HISTORIQUE

De tout temps, les populations riveraines du Rhin dans les cantons des Grisons et de Saint-Gall ont eu à souffrir des crues et des débordements du fleuve. Dans l'origine et jusqu'à ces dernières années, les communes riveraines et certaines corporations avaient à supporter toutes les charges de l'entretien des digues ou de leur établissement. Le gouvernement cantonal aidait par des subsides plus ou moins importants et dans tous les cas il aidait aux communes au point de vue administratif. Cependant, chaque année, la lutte incessante contre les irrptions du Rhin devenait plus écrasante pour les habitants; le pays s'appauvriissait peu à peu, en même temps que les dépenses nécessaires devenaient toujours plus importantes. Les populations n'y pouvaient plus suffire; les réparations, les reconstructions partielles et locales, toujours trop insuffisantes, ne pouvaient que rarement être suivies d'un effet satisfaisant et durable.

Cet état de choses ressort à toutes les pages du recueil que le gouvernement de Saint-Gall a fait imprimer sur ces questions¹. On y voit que dès 1815, c'est-à-dire dès la fin de la période troublée du régime politique de l'Europe, le gouvernement a fait tout ce qui était en son pouvoir pour apporter un remède à cette situation. Les ingénieurs hydrauliciens les plus

¹ *Aktensammlung über die Verhältnisse des Rheins im Kanton St. Gallen*. Amtliche Ausgabe.

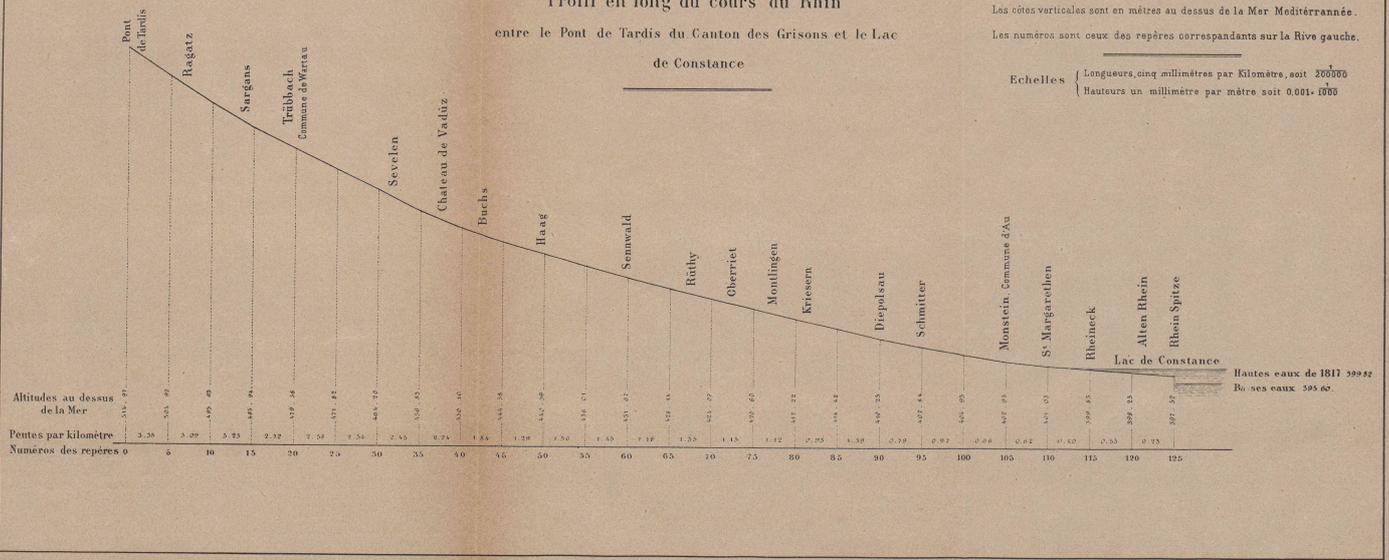
Seite / page

leer / vide /
blank

Profil en long du cours du Rhin
entre le Pont de Tardis du Canton des Grisons et le Lac
de Constance

Les points indiqués sont espacés de trois mille mètres de l'un à l'autre.
Les cotes verticales sont en mètres au dessus de la Mer Méditerranéenne.
Les numéros sont ceux des repères correspondants sur la Rive gauche.

Echelles { Longueurs, cinq millimètres par Kilomètre, soit $\frac{1}{200000}$
Hautours un millimètre par mètre soit 0.001-1000

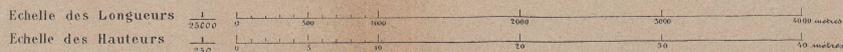
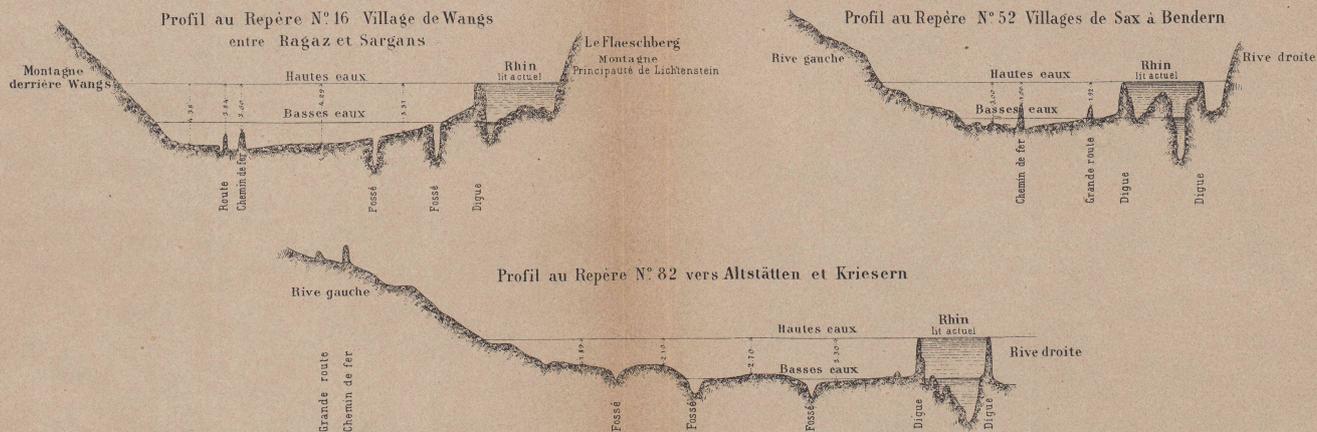


Seite / page

leer / vide /
blank

Correction du Rhin

Profils en travers

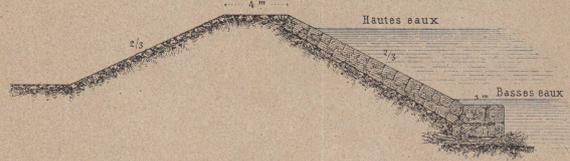
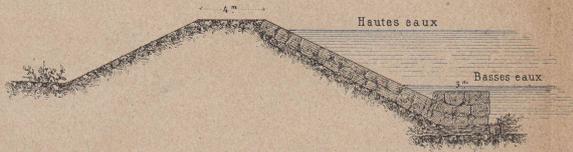


Seite / page

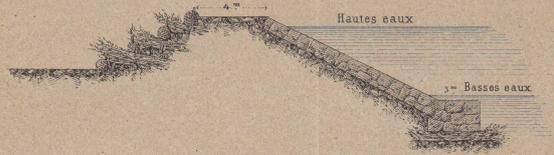
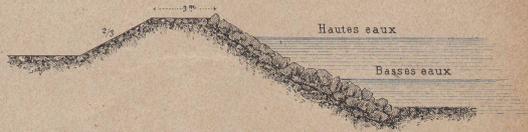
leer / vide /
blank

Profils ordinaires du Rhin dans le Rheinthal

Echelle de cinq millimètres pour mètre.



Profil normal des digues de l'Isère.



Seite / page

leer / vide /
blank

en renom de l'époque ont été consultés. Je citerai : le célèbre colonel Tulla, du grand-duché de Bade, les colonels Pestalozzi et Hegner, de Zurich, le conseiller Escher, de la même ville, tous morts aujourd'hui; puis d'autres, encore vivants, tels que le colonel du génie R. La Nicca, de Coire, le professeur Carl Pestalozzi, et d'autres.

On a essayé de renouer des relations avec les autorités autrichiennes de la rive droite pour s'entendre sur des dispositions d'ensemble, des plans ont été élaborés et proposés, les conférences ont succédé aux conférences; rien n'a été négligé depuis que le canton de Saint-Gall, rendu à son indépendance politique, a été libre de s'occuper de ses intérêts territoriaux; mais rien de grand ou de suffisant n'a pu être entrepris, soit quelquefois par défaut d'entente, soit surtout par défaut de ressources financières suffisantes, ce qui a toujours eu pour effet de limiter les ouvrages le long du Rhin à des demi-mesures et aux palliatifs temporaires.

C'est dans cette situation qu'en 1849 la nouvelle constitution de la Suisse réorganisée vint ouvrir au canton de Saint-Gall un port de salut, que ses autorités s'empressèrent de mettre à profit en introduisant une demande formelle de subside, fondée sur l'art. 21 de la constitution fédérale, article remplacé aujourd'hui par l'art. 23 de la constitution révisée.

Cette demande fut examinée par une commission spéciale du conseil des Etats, nommée le 5 août 1853, qui déposa son rapport le 21 janvier suivant. A la suite de ce rapport, très circonstancié, l'assemblée fédérale déclara que la Confédération était disposée à seconder l'œuvre de la correction du Rhin, mais qu'elle n'accorderait de subside qu'autant qu'un plan aurait été adopté pour une correction aussi complète que possible.

Ainsi donc, par cette décision du 21 juillet 1854, les conseils mettaient le canton de Saint-Gall en demeure de produire un plan complet de correction offrant toutes les garanties possibles d'un travail durable et efficace. C'était agrandir la question pour le canton, mais avec le ferme espoir, la certitude même, que sa demande de subside serait favorablement accueillie dès qu'il présenterait une étude technique assez complète pour faire espérer un succès durable.

Les autorités saint-galloises se mirent à l'œuvre et, après quelques années, le 12 février 1861, un plan complet fut présenté à l'assemblée fédérale. Ce plan comprenait la correction du Rhin sur toute la partie de la rive gauche du fleuve comprise entre le pont de Tardis et la station de Monstein dans la commune d'Au. C'est une section de plus de 63 kilomètres entièrement dans le canton de Saint-Gall. Quant à la section de 12 kilomètres comprise entre Monstein et le lac de Constance, elle était laissée de côté pour le moment, parce qu'elle exige pour une correction rationnelle la participation de l'Autriche, qui possède la rive droite.

La dépense probable était évaluée à 8500000 fr., selon un devis sommaire accompagnant les plans.

Cette nouvelle demande du canton de Saint-Gall fut, avant toute délibération, soumise quant aux plans et devis à l'examen préliminaire de deux ingénieurs désignés comme experts par le Conseil fédéral, qui reçurent à cet effet des instructions détaillées datées du 12 août 1861. Ceux-ci se mirent à l'œuvre dès le mois suivant, et après un examen attentif et prolongé des localités et de toutes les données qui leur ont été fournies

par les soins des autorités saint-galloises et des ingénieurs cantonaux, ils ont pu présenter leur rapport au commencement de novembre de la même année.

Nanti de ce rapport, le conseil fédéral à son tour adressa au conseil national, le 24 janvier 1862, un message et des propositions. Ce conseil désigna une commission de cinq de ses membres pour examiner à nouveau toute la question. Cette commission, après une visite complète de toutes les localités et du cours du Rhin, accompagnée des autorités cantonales et des ingénieurs déposa son rapport le 14 juillet 1862.

Ce rapport, rédigé par M. Edouard Dapples, président de la commission, examine la question à tous les points de vue et fait clairement connaître les circonstances de diverses natures qui se rattachent à cette grande entreprise, en sorte qu'après une discussion importante, les conclusions de ce rapport furent adoptés par l'assemblée fédérale, dont le décret porte la date du 24 juillet 1862.

Mais il faut noter ici que, par un office du 27 décembre 1861, le gouvernement du canton des Grisons, informé des observations faites par les experts qui en septembre et octobre de cette même année avaient été appelés à examiner les plans et devis, avait demandé à être mis au bénéfice de la décision qui pourrait intervenir sur l'ensemble de l'entreprise. Ce canton devant nécessairement participer aux dépenses, en raison de la partie de la rive droite qui se trouve sur son territoire. Cette demande légitime fut jointe à celle du canton de Saint-Gall et la commission du conseil national eut à l'examiner aussi, en sorte que le décret du 24 juillet alloue une subvention spéciale à chacun des deux cantons des Grisons et de Saint-Gall.

Le devis du canton de Saint-Gall visé par ce décret présentait les chiffres suivants :

Pour digues nouvelles à construire	7 241 775
Pour digues anciennes à restaurer	386 730
Pour digues d'arrière-bords à réparer	396 130
Ensemble pour travaux	8 024 635
Pour frais généraux, administration, outillage, commissions, etc.	475 365
Total, fr.	8 500 000

Mais, dans leur rapport du 2 novembre 1861, les experts avaient fait observer que la réussite technique des ouvrages d'une partie de la rive gauche exigeait des travaux correspondants sur la rive droite, qui dépendait de deux communes du canton des Grisons pour plus de 9 kilomètres.

Le devis pour cette partie, calculé approximativement et par analogie avec la dépense prévue pour la rive opposée, était fixé à 1398000 fr. Quant au surplus de la rive droite, la Suisse n'avait pas à s'en occuper; elle appartient à deux Etats différents : la principauté de Lichtenstein et l'empire d'Autriche, avec lesquels on ne pouvait s'entendre que par des conventions et des négociations de bon voisinage.

Telle était la situation en vertu de laquelle les autorités fédérales accordèrent par le décret de 1862 deux subventions :

- l'une de 2 800 000 fr. au canton de Saint-Gall,
- l'autre de 350 000 fr. au canton des Grisons.

Ces sommes devaient être payées à mesure de l'avancement effectif des ouvrages, sans toutefois dépasser un maximum annuel déterminé. Un délai de douze ans était prévu pour

l'exécution complète du projet, et en outre quelques prescriptions administratives étaient destinées à régulariser la marche de l'entreprise, placée d'ailleurs sous la surveillance du conseil fédéral.

Telle est l'origine de l'entreprise, la première de ce genre depuis la réorganisation politique de la Suisse. Cette intervention fédérale dans les grands travaux d'utilité publique, première application de l'art. 21 de la constitution, se justifie au plus haut degré.

Avant cette époque, la Suisse, formée de cantons parfaitement souverains et indépendants les uns des autres en matière de travaux publics, ne pouvait se livrer à aucune entreprise un peu vaste sans avoir à s'entendre avec les cantons limitrophes ou intéressés. Il n'était certainement pas sans exemple, mais il était assez rare de voir des conventions entre cantons aboutir à des œuvres un peu étendues ou coûteuses; à plus forte raison éprouvait-on d'autres difficultés lorsqu'il y avait lieu de s'entendre avec des Etats étrangers à la Suisse. Si dans la plupart des cas cette indépendance cantonale peut se concilier avec les nécessités des travaux publics ordinaires, tels que ponts, routes, améliorations locales, il n'en est pas de même pour les grands cours d'eau, comme le Rhin, le Rhône, l'Aar, qui traversent plusieurs cantons et ne respectent aucune limite territoriale. Le plus souvent les travaux qu'ils exigent ne peuvent se renfermer dans un seul territoire et leur influence peut se faire sentir fort au loin. Souvent aussi la dépense est trop élevée pour être supportée par une seule localité ou un seul canton.

Ces difficultés résultent de la nature même des choses et sont souvent insurmontables pour un petit Etat comme la Suisse, morcelé en cantons souverains; aussi ne peut-on citer en Suisse qu'un petit nombre de corrections de rivières exécutées par un seul canton dans son territoire. Je citerai comme exemple la correction de la Kander, opérée dans le milieu du siècle dernier par le canton de Berne; celle de la Lütchine dans le même canton, qui date déjà du XIII^e siècle, celles de la Reuss dans le canton d'Uri, de l'Aar dans le Haslithal; celle d'une partie du Rhin dans le Domleschgerthal au canton des Grisons. Une seule entreprise analogue est sortie des limites cantonales, mais avec l'appui de la Diète helvétique, c'est la correction de la Linth, due à la persévérance et à l'ardente initiative d'un citoyen zurichois, Conrad Escher. Grâce à ses efforts, cette belle entreprise a été secondée par la Diète dès les premières années du siècle; elle est maintenant entrée dans une période d'achèvement et de succès qui justifie les vues patriotiques et les espérances de son auteur.

C'est donc avec raison que la Confédération intervient dans l'intérêt du pays tout entier, non seulement pour l'aider à l'accord qui est nécessaire entre les intérêts cantonaux qui peuvent quelquefois être en opposition entre eux, mais encore en se chargeant d'une part de la dépense qui, bien souvent, excéderait les ressources d'une seule contrée. D'ailleurs, en aidant à rendre à la culture des contrées étendues telles que la vaste plaine du Rheinthal, celle du Rhône, celle du Seeland au pied du Jura ou d'autres analogues, la Confédération concourt à une œuvre d'utilité publique de premier ordre. C'est pour elle comme la conquête pacifique d'un nouveau territoire qui procurera par la suite aux générations futures un élément permanent de travail agricole et industriel qui ne peut que profiter au bien-être des populations locales, favoriser leur accroissement, leur dé-

veloppement normal et leurs industries diverses. Si les cantons auxquels s'applique cet appui en ont le premier fruit, s'ils voient augmenter le chiffre de leur population laborieuse en échange des sacrifices qu'ils auront dû faire pour atteindre ce but, la Confédération elle-même a tout intérêt à favoriser ce développement des ressources cantonales, dont elle retirera aussi divers avantages.

Le sol de la Suisse, outre ses plaines et ses plateaux richement cultivés, comprend une vaste étendue de terrains improductifs, tels que les rochers stériles des montagnes, leurs innombrables glaciers, les lacs si nombreux; ce sont là tout autant de surfaces territoriales très improductives, malgré leur beauté pittoresque si appréciée des visiteurs nationaux et étrangers. Ces visiteurs ne sont d'ailleurs pas une source bien sûre ou bien avantageuse de richesse nationale. Parmi ces terrains sans réelle valeur, les plaines marécageuses ne doivent plus subsister. Il semble qu'elles sont comme des taches qui affligent le regard autant qu'elles accusent notre inertie par le contraste qu'elles forment avec les riches terrains qui les entourent. La plupart et les principales sont situées dans les régions favorisées d'un excellent climat, en sorte qu'il dépend de l'activité de l'homme et de son intelligence de les transformer en terres productives et fertiles, au profit des générations futures et du pays tout entier. Que de familles qui ont transporté leurs pénates et leur petit avoir dans des pays lointains presque inconnus, qui auraient pu trouver dans leur patrie une meilleure utilisation de leurs forces et de leurs ressources. Il appartient d'autant plus aux gouvernements de seconder les efforts qui peuvent être tentés dans ce but que bien des améliorations générales peuvent en être la conséquence. La santé publique des hommes et du bétail, la diminution des brouillards froids qu'engendrent les grands marais, sont de ce nombre. On peut citer des exemples dans plusieurs pays. Je ne citerai que celui des landes de Gascogne. Déjà en 1837 M. l'inspecteur général, Claude Deschamps, disait: « Les 750 lieues carrées que renferment les landes de Gascogne doivent un jour, par des travaux bien dirigés, ne pas laisser un espace qui ne soit livré à la culture. »

L'opération qui a eu lieu depuis cette époque a eu des résultats merveilleux pour la richesse et la salubrité de la contrée, outre la valeur du sol qui s'est élevée et qui a valu des millions aux communes propriétaires.

Or, les registres des naissances et des décès de toutes les communes de 1856 à 1876, soit pendant vingt ans, ont constaté une diminution graduelle du nombre des décès et une augmentation non moins remarquable du nombre relatif des naissances. C'est une preuve évidente de l'amélioration générale de la salubrité publique et de l'état sanitaire de la population. M. le docteur Lemiac, qui exerce dans ces contrées, estime que les fièvres paludéennes ont diminué dans la proportion de 10 à 1, ce qu'il attribue complètement à l'assainissement des landes et à leur mise en culture.

Si ces observations générales s'appliquent aux améliorations diverses qui peuvent être faites auprès de nos principaux cours d'eau, elles acquièrent pour le Rheinthal une importance nouvelle par le grand nombre de villages qui occupent la vallée et qui sont bien souvent atteints et ravagés par les débordements du Rhin.

A cet égard, il suffit de lire les rapports qui ont été présentés aux conseils par les différentes commissions qui ont eu à

s'occuper de la question de la correction, ou les documents officiels qui en parlent, pour voir combien souvent les catastrophes les plus graves se sont produites. Une série de dates néfastes sont inscrites à toutes les pages ou marquées sur tous les plans. Ces inondations sont d'autant plus redoutables que la pente du sol favorise le prompt envahissement de la plaine dont le niveau est en plusieurs points inférieur à celui du Rhin, en sorte qu'à chaque crue la sécurité de la contrée dépend de la solidité des digues. Mais ces digues, jusqu'à ce jour bien insuffisantes, peuvent être mises en péril par des érosions ou des affouillements inattendus.

Un grand nombre des catastrophes rappelées dans les actes officiels ont causé des ruines importantes et entraîné la mort d'un grand nombre de personnes. Cela fut le cas de la grande inondation de 1868¹.

En présence de ces faits si souvent renouvelés, aucune administration ne peut rester indifférente ou inactive. Il ne lui suffit pas de distribuer après la catastrophe quelques secours aux plus à plaindre des habitants; à cet égard les secours et les dons volontaires ont été plus abondants qu'on n'aurait jamais osé l'espérer. Toutes les populations ont rivalisé de zèle et de charité; mais cela n'est pas suffisant, l'administration a d'autres devoirs à remplir. Il faut à tout prix arrêter la source de ces désastres périodiques, corriger, endiguer le fleuve, contenir les affluents, reboiser les pentes de montagnes, en un mot ne rien négliger de ce qui est possible pour rendre un peu de sécurité aux populations. Or pour toutes les améliorations de cette nature, toujours coûteuses et de longue durée, il n'est pas de trop de grouper toutes les forces et toutes les ressources. Les populations directement intéressées doivent agir et contribuer en tout premier lieu; mais les administrations communales et cantonales doivent leur aider, et enfin celles de la Suisse entière doivent joindre leurs efforts.

C'est dans cet esprit que les décrets des chambres fédérales ont été votés et que les mesures financières et administratives ont été prises par les diverses autorités compétentes.

La coopération de la Confédération se justifie d'autant plus que, outre sa participation financière sans laquelle l'entreprise n'aurait peut-être jamais pu se faire ou se compléter, elle seule peut imprimer à ces grands travaux une marche sûre et régulière, en intervenant au besoin de plus haut entre les intérêts locaux qui peuvent parfois être en rivalité. Il est à propos d'ailleurs d'observer que les améliorations de cette nature sont étrangères à l'esprit de spéculation. Aucune société financière ne pourrait être tentée de se charger d'une vaste opération de ce genre, qui lui ferait assumer une responsabilité redoutable en même temps qu'elle exigerait des avances d'argent considérables et beaucoup de temps avant de donner des résultats rémunérateurs. Ces résultats se produisent d'ailleurs en améliorations générales du sol, en bien-être pour les propriétaires et les habitants de toute la contrée, en salubrité publique, en développement des forces industrielles, agricoles et nationales: toutes choses qu'il est impossible de chiffrer équitablement et de livrer à des sociétés privées. Celles-ci d'ailleurs, impatientes de dividendes, ne peuvent attendre le plein développement des résultats qui ne se réalisera que dans un temps éloigné et pour

les générations suivantes. Comment d'ailleurs une société financière pourrait-elle se charger d'une entreprise de ce genre? Que de chances à prévoir, à évaluer, quels calculs d'intérêts composés! quelle limite de temps à fixer!

Outre l'absence de garanties efficaces, comment pourrait-on livrer à une société les perceptions à faire sur les propriétaires d'immeubles et autres intéressés. Ce sont autant de questions qui suffisent pour faire voir que les administrations publiques seules peuvent entreprendre ces travaux de longue haleine et la mener à bien avec sagesse et régularité. Elles le peuvent d'autant mieux qu'elles sont libres d'en régler la durée selon les circonstances et que l'appui qu'elles peuvent donner à une entreprise ou à une contrée ne porte aucun préjudice aux entreprises analogues qui peuvent se faire dans une autre. La correction du Rhin n'a point fait obstacle à celle du Rhône ou à celle de l'Aar, ou à celle des eaux du Jura. Il n'y a nulle rivalité entre elles, ni concurrence à prévoir. C'est à peine si en face des exigences du budget il peut s'élever une question de priorité. Ces conditions ne sont plus les mêmes pour les chemins de fer, qui sont entrepris par des sociétés de spéculation qui ont intérêt à rivaliser entre elles de vitesse ou à se faire concurrence. Toute intervention des autorités supérieures peut facilement se transformer en partialité.

Une fois le décret de 1862 rendu, les autorités des cantons de Saint-Gall et des Grisons n'ont pas tardé à prendre des mesures pour organiser le travail. Déjà même le grand conseil du canton de Saint-Gall avait tellement compté sur cette décision des chambres fédérales qu'il avait adopté une loi spéciale organisant la partie financière à prévoir¹. Ce qui fut fait de la manière suivante:

Le subside fédéral était prévu pour . . .	fr. 2 800 000
La caisse d'Etat cantonale aurait à payer . . .	» 2 000 000
Les communes et corporations déjà tenues à l'entretien des digues fourniraient . . .	» 1 400 000
Les propriétaires du sol compris dans un périmètre intéressé payeraient . . .	» 2 300 000
<hr/>	
Total égal au devis produit	fr. 8 500 000

La répartition de la somme de 1 400 000 francs exigée des communes et corporations antérieurement tenues aux frais et charges de l'endiguement se fait selon une échelle ingénieuse qui tient compte, aussi équitablement que possible, des divers éléments de la fortune ou de la richesse locale et des avantages présumés.

La moitié sera payée proportionnellement à la longueur de rive de chaque commune et corporation,

soit 50 %

- le 15 % proportionnellement à la fortune communale;
- le 12 % en proportion du chiffre de la population;
- le 10 % en proportion des digues à faire;
- le 8 % en proportion des arrière-bords à refaire;
- le 5 % en raison des autres circonstances locales.

100 %

C'est ainsi qu'on est parvenu à former une échelle de répartition tenant compte des diverses circonstances à prendre en considération.

Quant aux propriétaires du sol, on a désigné un périmètre

¹ Voir les journaux suisses de septembre à novembre 1868. Voir aussi les rapports officiels, publiés à Berne, chez Ch. Wyss.

¹ Loi du 21 décembre 1861.

comprenant tous les terrains qui peuvent avoir à ressentir quelque influence des inondations ou des irrptions du Rhin. Ce périmètre a été limité à la hauteur de 30 centimètres au-dessus des plus hautes eaux connues. Dans ce périmètre, qui renferme 11 520 hectares, on a formé 3 classes de propriétés en raison de leurs positions plus ou moins exposées. La zone la plus exposée paye le 60 % de la valeur d'estimation de chaque parcelle, la suivante paye le 30 %, et la troisième le 10 % seulement.

L'estimation des propriétés a été faite d'après un plan cadastral régulier par des commissions spéciales relevant des tribunaux ordinaires. Il n'est pas sans intérêt de noter que ce plan parcellaire forme un atlas de plusieurs centaines de feuilles, qui ont été reproduites en huit ou dix exemplaires par la photographie, ce qui assure une copie très exacte et cependant en nombre suffisant pour le but spécial.

Ces opérations préliminaires ayant exigé un temps assez long, les perceptions à recouvrer chez les propriétaires n'ont pu être commencées que plus tard; mais le gouvernement a pourvu par des mesures financières à ce que les travaux n'en fussent point retardés.

Quant au canton des Grisons la question des dépenses se présentait autrement. Ce canton n'a que deux communes intéressées à la correction décrétée, tandis que le canton de Saint-Gall en a vingt-deux. De plus, dans le canton des Grisons les communes jouissent d'une assez grande indépendance administrative vis-à-vis des autorités cantonales; celles-ci représentent sans doute l'ensemble du canton auprès de la Confédération, mais elles se sont bornées à répartir la subvention fédérale entre les deux communes par égales portions, en raison de l'égalité presque complète de leur longueur de rive, et de laisser ces deux communes, Fläsch et Mayenfeld, exécuter leurs digues sous la direction de l'ingénieur cantonal des ponts et chaussées et le contrôle de l'inspecteur fédéral. Cet arrangement a fait l'objet d'un arrêté du 21 octobre 1862.

Ces diverses dispositions des autorités cantonales furent soumises en leurs temps à l'approbation du Conseil fédéral, selon les prescriptions du décret de juillet, et dès lors les travaux ont été entrepris et continués sans interruption. Ils sont encore en exécution sur quelques points.

Avant de faire connaître la nature des ouvrages au point de vue de l'art, il convient de bien indiquer les conditions et la nature du Rhin dans les limites du projet de correction.

DESCRIPTION DU RHIN ENTRE LE PONT DE TARDIS
ET LE LAC DE CONSTANCE; SES PENTES, SON LIT, SON DÉBIT,
SON RÉGIME, SES CHARRIAGES.

On sait généralement que le Rhin prend sa source dans les montagnes des Grisons à l'est et au sud-est du massif du Saint-Gothard et au nord de la grande chaîne des Alpes qui se dirige vers le Saint-Bernardin et le Splügen. Il est formé de trois branches distinctes, qui viennent se réunir au pied du beau château de Reichenau, bien connu des touristes par sa position pittoresque ainsi que par le séjour qu'y fit le roi Louis-Philippe comme simple maître d'école, à la fin du siècle dernier.

Une première branche prend sa source à deux mille et quelques cents mètres d'altitude dans la vallée de Tavetsch, des-

cent par Dissentis, Trons et Ilanz à Reichenau; c'est le Rhin antérieur (Vorderrhein).

Une seconde branche, dite le Rhin du milieu (Mittelrhein), descend par la vallée de Medels près du Luckmanier et se confond vers Dissentis avec la précédente.

Enfin la troisième, nommée le Rhin postérieur (Hinterrhein), prend sa source dans les glaciers du Saint-Bernardin, descend par Andeer la pittoresque Via-Mala, et Thusis à Reichenau.

Dès ce point, il n'est plus divisé et coule par Coire au pont de Tardis (Tardisbrücke), près duquel se trouve la limite cantonale de Saint-Gall et le commencement de la correction. Non pas que depuis Thusis au pont de Tardis le fleuve n'ait pas besoin d'endiguement et de travaux importants; mais jusqu'à présent ces travaux défensifs ont toujours été faits par les populations cantonales et locales dans les limites de leurs ressources. On peut voir dans la vallée de Domleschg et plus bas, vers le pied du Kalanda, et au-dessous de Coire, divers ouvrages importants qui attestent les efforts intelligents faits dans ces différentes localités pour contenir le Rhin dans un lit régulier.

A partir du pont de Tardis, jusqu'au lac de Constance, le Rhin borde par sa rive gauche le territoire du canton de Saint-Gall sur une longueur de 75 kilomètres; mais la rive droite est partagée entre trois Etats distincts. Ce sont: la Suisse, par les deux communes de Fläsch et de Mayenfeld, du canton des Grisons pour 9240 mètres.

la principauté de Lichtenstein . . » 28560 »
et l'empire d'Autriche (Voralberg) » 37200 »

(Voir pl. I). Ensemble 75000 mètres.

Avant d'atteindre le pont de Tardis, le Rhin s'est déjà grossi des eaux d'une centaine d'affluents, dont plusieurs sont importants: l'Albula, le Glenner, la Plessour, la Landquart et d'autres. En ce point, le bassin hydrographique comprend une superficie de 4267 kilomètres carrés, dans laquelle on compte 71 glaciers, occupant une superficie de 26575 hectares. 25 de ces glaciers forment une liste nominative avec 16413 hectares, les 46 autres plus petits ne couvrent entre eux que 10162 hectares. La présence de ces nombreux glaciers joue un rôle important pour le régime du fleuve, comme je le dirai en parlant du débit.

Après le pont de Tardis et jusqu'au lac, le bassin hydrographique comprend encore une superficie de 2352 kilomètres carrés, ce qui élève en total à 6619 kilomètres carrés la région dont il apporte les eaux dans le lac de Constance. Dans ce dernier trajet de 75 kilomètres, il reçoit les eaux de quelques affluents; la Tamina et la Saar sur la rive gauche, l'Ill sur la rive droite, et d'autres plus petits.

La pente générale du lit, dans les limites des 75 kilomètres qui font l'objet de cette étude, varie de 3,35 ‰ à 0,23 ‰. Cette décroissance de la pente est graduelle, en sorte que le profil en longueur présente dans son ensemble une courbe d'une certaine régularité apparente, ainsi que le montre le profil de la planche II.

Jusqu'en 1861 les rives formaient des lignes très irrégulières, endiguées en quelques points seulement et d'une manière très insuffisante, sans plan d'ensemble et selon les nécessités et les idées de chaque époque; la largeur du lit variait ainsi de 100 à 600 mètres.

En hiver, pendant les basses eaux, qui durent ordinairement d'octobre à mai de chaque année, le Rhin serpente capricieusement dans son lit, déplaçant des bancs de gravier ou de sable et cela sans règle apparente. En été, de mai à septembre, les eaux, plus hautes, remplissent mieux le lit; mais souvent elles attaquent les rives, et c'est alors que se produisent les irrptions violentes dont nous avons parlé.

Quoique la vallée soit large de quelques kilomètres et forme en apparence une vaste plaine presque unie, elle n'en a pas moins une pente transversale réelle, indépendamment de sa pente générale parallèle au fleuve. Ces pentes échappent facilement à l'œil, mais les instruments font reconnaître qu'en réalité le Rhin coule en divers points sur l'arête dorsale d'un vaste cône de déjection formé dans le cours des siècles par des dépôts successifs; la plaine tout entière est une plaine d'alluvion. Le Rhin n'en occupe pas le thalweg, mais parfois le sommet. Il résulte de nivellements exacts que généralement le niveau des hautes eaux est supérieur à celui du sol voisin, et que vers certaines communes inférieures, comme Diepoldsau et Kriesern, le niveau des eaux ordinaires et même des basses eaux est supérieur encore à celui des terres voisines. Cette disposition du sol fait comprendre que, dans chaque crue, la sécurité de toute la contrée dépend de la résistance des digues. Une rupture accidentelle par les eaux un peu hautes peut devenir la cause et l'origine d'une irruption grave, selon le point où elle se sera produite.

Dans cette situation, le danger pour la contrée devenait chaque année plus pressant.

Les matériaux charriés par le Rhin sont abondants; ce sont des débris de toutes les montagnes sillonnées par ses affluents. Ces graviers, poussés par les crues, s'arrêtent et se déposent dans les emplacements où la force de charriage diminue, soit par la décroissance de la masse d'eau en mouvement, soit par le rélargissement du lit. Il en résulte que les irrégularités du lit et celle des crues contribuent chaque année à relever un peu le fond du lit, et qu'ainsi, insensiblement sans doute, mais inévitablement, le danger des irrptions devient plus réel et plus redoutable. Ces phénomènes, par leur lenteur, échappent à l'attention du public, mais n'en sont pas moins importants à observer. L'exhaussement graduel du delta du Nil, en Egypte, a été évalué à 6 centimètres par siècle; c'est peu en apparence, mais cela est un fait utile à noter. La même chose se remarque sur le Pô: on a constaté qu'à Polesello les eaux se seraient relevées de 1 mètre 42 cent. dans l'espace d'un siècle; à Cavanello, l'élévation serait de 1 mètre 8 cent., d'après E. Lombardini.

Cependant la loi de ces variations est plus difficile à bien saisir qu'on ne le croit communément, vu l'absence de repères permanents et certains et les irrégularités accidentelles qui se produisent. Le mouvement des graviers qui tapissent le lit est lui-même sujet à mille variations capricieuses, dont je parlerai plus loin après avoir exposé ce qui concerne le débit du Rhin.

Jusqu'en 1860 et 1861, on évaluait que le Rhin pouvait varier dans son volume d'eau pour la section à corriger de 100 à 1500 mètres cubes par seconde; variation considérable qui indique déjà seule combien il est difficile de régulariser avec succès un fleuve si variable. Le bureau hydrographique officiel indique en hiver un minimum de 61 mètres cubes seu-

lement, ce qui doit être bien rarement atteint. Dans ce moment-là, les neiges s'accumulent dans les montagnes et dans la plaine elle-même, le gel suspend les eaux, l'eau presque limpide, d'un bleu légèrement verdâtre, coule en formant dans le lit une série de méandres, serpentant d'un bord à l'autre, entre les bancs de gravier. Les hautes eaux sont indiquées par le même bureau de 678 mètres par seconde; mais je ne puis admettre ce chiffre, quoique provenant de la même source, que comme indiquant la moyenne des hautes eaux ordinaires, car les grandes crues vont bien au delà.

Mais, quoi qu'il en soit, c'est sur les données alors connues que le devis de 1861 fut élaboré; or, les documents qu'on possédait dans la contrée ne dépassaient pas 1500 mètres cubes de débit par seconde et encore ce chiffre était regardé comme une exception extraordinaire. Les inondations de 1868 et de 1871 sont venues détruire cette illusion et causer une sérieuse perturbation dans les calculs. Cela m'entraîne à exposer plus en détail ce qui concerne la crue de 1868.

Après un mois de septembre excessivement pluvieux, qui avait détrempé les terres jusqu'à saturation, surtout dans la région des Alpes qui avoisine le massif du Saint-Gothard, il survint encore vers la fin du mois une pluie diluvienne, accompagnée d'un vent chaud, qui fit augmenter rapidement le volume du Rhin, ainsi que celui d'autres fleuves prenant leurs sources dans les mêmes régions: la Reuss, le Tessin, le Rhône et leurs affluents. Le volume débité s'éleva pour le Rhin à peu près à 3000 mètres cubes et causa une inondation qui fut désastreuse dans toute la vallée.

Arrivé rapidement sur place au moment de la catastrophe, j'ai pu me rendre compte par quelques vérifications rapides que le débit atteignait le volume ci-dessus, et, craignant de commettre une exagération involontaire, je me bornai, dans mon rapport officiel sur cet événement, à indiquer un volume de 100000 pieds cubes par seconde, équivalant à 2700 mètres cubes.

Cependant, désirant avoir quelques appréciations différentes, pour contrôler mes propres observations prises fort à la hâte dans le moment où toutes les forces de la population étaient employées à éloigner le danger, je priai l'ingénieur en chef du canton des Grisons, M. Adolphe de Salis, actuellement inspecteur en chef, à Berne, de me faire connaître son résultat, le pont de Tardis étant encore dans sa circonscription. Il eut l'obligeance de me répondre, dès le 12 octobre, qu'il avait évalué le débit pendant la crue à 2851 mètres cubes; on sait d'ailleurs que le pont fut lui-même en partie emporté et le passage interdit aux voitures pendant quelque temps.

Un peu plus tard, M. Wey, ingénieur de section, ayant refait des nivellements exacts de toute la section dont il était nouvellement chargé, a profité de ce travail pour calculer le volume probable du débit de 1868 d'après les traces assez nombreuses qui ont été reconnues. Ce calcul lui a donné un débit de 3500 mètres cubes, soit 130000 pieds cubes.

Enfin, pour mieux me rendre compte des causes de cette catastrophe et de la possibilité des chiffres obtenus, je me procurai les hauteurs de la chute d'eau, constatées par les stations météorologiques officiellement entretenues dans la Suisse et dont les observations sont recueillies au bureau météorologique de l'observatoire de Zurich.

D'après les documents fournis par M. Wolf, directeur de ce

bureau, je vois que dans le bassin hydrographique du Rhin, en amont du pont de Tardis, il est tombé 159,2 millimètres d'eau pluviale entre le 19 et le 30 septembre, que du 22 au 23 seulement la quantité était de 48,3 millimètres, et que du 27 au 28 la chute d'eau s'est élevée à 67,2 millimètres. Ainsi donc la chute d'eau de pluie a été énorme et son maximum a coïncidé avec le moment où les terres, déjà imbibées à fond, n'en pouvaient plus absorber, en sorte que tout le volume nouveau a dû s'écouler par la surface du sol et avec la rapidité qui a lieu sur les pentes de montagnes. Cela explique, d'ailleurs, les nombreux glissements de terrain qui ont eu lieu dans la région des Alpes et qui ont englouti des propriétés et des habitations nombreuses dans plusieurs cantons.

En calculant le volume d'eau par la surface du bassin hydrographique, on arrive bien au delà du volume écoulé par le Rhin en un temps donné, tout en faisant encore une part large à l'absorption du sol, qui a pu en retenir ou en ralentir une proportion quelconque.

Enfin c'est le moment de m'expliquer sur l'influence des glaciers dont j'ai parlé plus haut.

Le bassin hydrographique du Rhin renferme des glaciers qui n'occupent pas moins de 26 575 hectares de surface sur une profondeur inconnue et très variable d'un point à un autre, mais quelquefois considérable, pouvant atteindre des centaines de mètres. Au glacier de l'Aar, en 1841, Agassiz trouva une profondeur de 232 mètres.

On sait par les recherches de Venetz, d'après son mémoire de 1821¹, par l'*Essai sur les glaciers*, de Jean de Charpentier², par les recherches d'Agassiz et de divers autres naturalistes, que les glaciers s'étendent ou se retirent dans certaines périodes et quelquefois pendant une série d'années. Or les glaciers ne sont maintenus que par l'accumulation séculaire des neiges de l'hiver que les chaleurs de l'été ne parviennent à fondre que partiellement. Si l'on a pu mesurer la superficie de tel ou tel glacier même avec exactitude, il n'est guère possible de mesurer l'épaisseur de la couche de glace qui existe, ni celle qui peut varier d'une année à une autre. Que quelques étés chauds se succèdent, le glacier diminue, ce qui s'aperçoit à son étendue inférieure. On dit qu'il *se retire*, ou se recule; si, au contraire, les étés sont courts et peu chauds, les neiges tombées pendant l'hiver ne se fondent pas toutes, elles s'accumulent sur le glacier, s'y congèlent, font corps avec lui et en augmentent le volume: ce qui devient visible à son extrémité inférieure et au mouvement des moraines; on dit alors que le glacier *avance*³. Mais qui pourrait évaluer en mètres cubes le volume de glace qui peut être ainsi ajouté ou retranché d'un glacier selon les vents chauds ou froids qui règnent dans ces régions inhospitalières, souvent inabordables⁴? Les volumes

¹ *Mémoire sur les variations de température dans les Alpes*, par Venetz, inséré dans le premier volume des *Mémoires de la Société helvétique des sciences naturelles*. — In-4. Zurich 1833, chez Orell et Füssli.

² *Essai sur les glaciers*, par Jean de Charpentier. — In-8. Lausanne, chez Georges Bridel.

³ Voir encore le volume publié par le professeur Desor à Neuchâtel: *Excursions dans les glaciers*. Neuchâtel et Paris, chez Rissling, 1844.

⁴ Les observations suivies de MM. les professeurs Ch. Dufour et F. Forel sur le glacier du Rhône ont constaté ces données générales et démontré que les glaciers font l'office de surface réfrigérante et absorbent l'eau contenue en vapeur dans l'atmosphère qui les entoure.

d'eau pluviale constatés par les observations pluviométriques ne peuvent donc indiquer quelle est la partie de cette eau qui peut être restée congelée sur les glaciers ou qui a pu s'écouler dans une année chaude plutôt que dans une autre. Un vent chaud régnant sur les Alpes peut faire activer la fusion des glaciers, et faire ainsi arriver dans les torrents qui en découlent une quantité d'eau provenant peut-être de la neige accumulée de plusieurs années antérieures et dont les pluviomètres n'ont pu tenir compte. Le Rhin, qui reçoit les eaux de 26 575 hectares de superficie de glaciers, doit en subir l'influence. Or si, par hypothèse, on admet qu'un vent chaud ou des pluies douces aient fait diminuer l'épaisseur de ces glaciers de dix centimètres seulement, ce qui est insignifiant pour leur profondeur, cela seul suffit pour amener dans les torrents un volume de plus de 26 millions de mètres cubes, volume suffisant pour les faire grossir rapidement, indépendamment des chutes d'eau du moment.

Nul ne peut faire un calcul, même approximatif, de ce genre, les moyens d'investigation nous échappent par la nature même des choses et des lieux; c'est à grand-peine et non sans danger quelquefois que des savants ont pu vérifier certains phénomènes, mesurer certains glaciers, observer leur structure et leurs mouvements; mais ces mesures ne peuvent indiquer les volumes et leurs variations. C'est ainsi qu'Agassiz a fait faire des forages dans les glaciers de l'Aar et que, plus récemment, M. le professeur Ch. Dufour de Morges a fait connaître que le glacier du Rhône en Valais a rétrogradé de 670 mètres dans l'espace d'un siècle, de 1777 à 1877. C'est donc un recul moyen de 6^m70 par année. Des repères sont fixés pour permettre de continuer ces recherches¹.

Je me borne donc à constater que, dans la catastrophe de 1868, le Rhin a grossi d'une manière exceptionnelle, sous la double influence de la masse d'eau pluviale tombée dans la région où il prend sa source et du volume d'eau que la fonte des glaciers peut y avoir ajouté sous l'action du vent chaud qui a régné à cette époque pendant un certain temps². Le débit exceptionnel de 3000 mètres cubes que j'indique est d'autant plus admissible à mes yeux, malgré la difficulté et les irrégularités d'un jaugeage dans un moment de crue dangereuse, qu'il est ainsi confirmé de divers côtés et que, de plus, si je fais le calcul de la pluie tombée dans le bassin hydrographique, que tout en faisant large encore la part absorbée par le sol, malgré cependant qu'il fût déjà si saturé d'eau que plusieurs éboulements se sont produits et ont entraîné des terrains précieux et plusieurs habitations, je trouve la justification du débit ci-dessus pour une longue durée de temps; or, quoique la crue ait duré plusieurs jours, elle n'a pas eu la même hauteur pendant toute la durée.

Un pareil débit suppose une vitesse excessive et c'est la première objection qui me fut faite, en 1868 déjà, quand je fis con-

¹ *Bulletin de la Société vaudoise des sciences naturelles*, 2^{me} série, vol. XV, N° 80, Lausanne. De plus, au moment où j'écris ces lignes, la Société helvétique des sciences naturelles met au concours l'étude complète d'un glacier à divers points de vue.

Une constatation récente évalue à 80 mètres le recul du glacier du Rhône en deux années, 1878 et 1879.

² Ce vent chaud, connu en Suisse sous le nom de *föhn*, a fait le sujet d'une étude remarquable de M. le professeur Louis Dufour, insérée dans le *Bulletin de la Société vaudoise des sciences naturelles*, à Lausanne.

naître mon opinion à un éminent professeur. Je n'avais eu au moment de la crue aucun moyen exact de vérifier la vitesse. Le danger était tel pour la contrée que toute la population valide était occupée à préserver ce qui pouvait l'être. Ce n'était guère le moment de faire des opérations minutieuses, mais je pus saisir dans une des années suivantes une occasion de mesurer la vitesse moyenne au pont de Ragatz pendant une crue très haute. J'ai constaté $5\frac{1}{2}$ mètres par seconde et la vitesse superficielle dépassait 6^m80 , ce qui vient encore confirmer mes évaluations. Enfin, le travail plus exact et plus rigoureux de M. l'ingénieur Wey est une nouvelle confirmation.

Une seconde catastrophe est venue encore surprendre les riverains en juin 1871, mais cette crue presque aussi forte que la précédente n'a pas eu la même durée et a causé moins de ruines. Je n'en parlerais pas si elle n'avait eu des conséquences plus graves pour l'administration en ce qu'elle a fortement ébranlé la confiance des populations riveraines et rendu la marche de l'administration plus difficile.

Déjà en 1869, à la suite des désastres causés par l'inondation de l'année précédente, le gouvernement cantonal fit répandre une notice¹ qui m'avait été demandée sur le système d'endiguement dans le but de calmer les imaginations et les craintes, et expliquer en termes aussi simples que possible les motifs des ouvrages entrepris; mais en 1871 les craintes se réveillèrent plus vives et cela décida l'administration supérieure fédérale à faire discuter à nouveau le plan et le système d'endiguement par une commission de trois ingénieurs. Cette commission déposa son rapport le 23 août 1871. Ce rapport conclut à modifier et augmenter le profil des digues en raison de la hauteur des crues qui venaient d'avoir lieu; il modifiait aussi dans une certaine limite le système suivi d'une double ligne en ce qui concernait la première partie du Rhin jusqu'aux rochers de Büchel, mais il maintenait ce système pour la partie suivante².

Ces modifications au programme, résultat de l'énormité du débit, comparativement à ce qui avait été connu jusqu'à cette époque, en augmentant notablement le profil et l'importance des ouvrages, élevaient du même coup la dépense, en sorte que dès ce moment, outre les réparations coûteuses qui provenaient des irruptions du Rhin, il devenait évident que les devis seraient dépassés dans une forte proportion.

Cette circonstance, jointe à l'augmentation générale du prix de la main-d'œuvre, explique et justifie nettement l'insuffisance des premiers devis. Les travaux exécutés dans les cinq premières années sont demeurés dans les limites des prévisions des premiers devis et l'on pouvait admettre avec confiance que les sommes votées suffiraient à toute l'entreprise. Les inondations de 1868 et 1871 sont venues détruire cette espérance; on ne peut en faire un reproche à l'auteur du premier projet, M. Hartmann. Je devais à sa mémoire de faire cette déclaration d'une manière durable.

Mais si, en 1868, on a constaté un débit de 3000 mètres cubes par seconde ou, selon M. Wey, de 3510 mètres, personne ne peut affirmer qu'un jour ou l'autre on ne puisse en constater un plus fort encore. Tous les auteurs sont d'accord sur cette

¹ *Gutachten über die Nothwendigkeit eines einfachen oder doppelten Abfluss-Profiles.* — Saint-Gall 1869.

² *Expertise über die Rhein-Correction im Kanton St. Gallen*, 23. August 1871. (Bern.) Ad. de Salis, G. Bridel et W. Fraise. Amtlich.

vérité qu'on ne peut jamais considérer les plus grandes crues connues comme ne pouvant pas être dépassées un jour ou un autre.

Cette variabilité du volume d'eau débité par le Rhin entre 100 et 3000 mètres complique énormément le problème de la correction. Les dimensions à donner aux ouvrages, le profil à régulariser ne peuvent se prêter également bien à tous les niveaux. Il y a une difficulté réelle à choisir entre l'inconvénient du dépôt des charriages par un profil trop large ou le danger des affouillements et des débordements par un profil insuffisant.

Mais avant d'aborder la question difficile du système des travaux, sujet qui mérite une attention spéciale, je dois achever de faire connaître l'état et la nature du Rhin, tel qu'il se présente dans la section à corriger.

Avec ses débits si variables, le Rhin charrie ou entraîne une quantité considérable de graviers, débris apportés par ses affluents et qui présentent des échantillons de toutes les roches qui forment les Alpes des Grisons. Ces charriages tapissent son lit sur toute sa largeur. Près du pont de Tardis, on y remarque des cailloux volumineux du poids de 10, 20 et 50 kilogrammes dont on peut attribuer la plus grande partie à la Landquart, torrent qui débouche de la vallée du Prätigau un peu au-dessus du pont et qui, en raison de sa pente, roule de très gros blocs. Des travaux d'endiguement faits depuis quelques années en amont dans la vallée paraissent avoir réussi à retenir une notable partie de ces gros blocs.

Plus bas arrivent les roches schisteuses et calcaires de la Tamina, qui vient de la vallée si pittoresque de Pfeffers, traverse le beau village de Ragatz, célèbre par ses eaux thermales, et débouche sur la rive gauche. Plus bas encore le torrent de Trübbach amène les débris du Schollberg, puis les torrents de la principauté de Lichtenstein et enfin l'Ill qui arrive par Feldkirch sur la rive droite. Tous ces débris sont mélangés, triturés, usés les uns par les autres, et sont accompagnés d'une grande quantité de sable, de menu gravier et de limon, produit du frottement de tous ces éléments les uns par les autres, ainsi que des érosions que le courant occasionne sur les rives.

L'étude de ces mouvements des charriages dans un fleuve se complique de la variété des roches qui les fournissent, de la pente du fleuve, des variations de ses crues. Cette étude a été entreprise dernièrement par M. le professeur Carl Pestalozzi de Zurich qui vient de publier un excellent mémoire sur ce sujet¹. Déjà avant lui, la remarquable étude de M. Surell sur les torrents des Alpes avait mérité en 1842 d'être couronnée par l'académie des sciences². Un autre ingénieur en chef des ponts et chaussées, M. Phil. Breton, a écrit en 1867 sur le même sujet³.

Ces deux derniers auteurs insistent sur la nécessité impérieuse de chercher à rétablir la végétation sur les flancs dénudés des montagnes et surtout des ravins, et d'aider à cela par des barrages; mais je ne puis avoir la prétention d'aborder ce sujet à propos des digues du Rhin.

Les barrages sont très utiles pour divers affluents dans les

¹ *Die Geschiebsbewegung und das natürliche Gefäll der Gebirgsflüsse.* Brochure petit in-folio, 1878. Sans nom d'éditeur.

² *Etudes sur les torrents des hautes Alpes.* — Paris 1870, 2^e édition.

³ *Mémoire sur les barrages, etc.*, par Ph. Breton. — In-4. Paris 1867. Demod éditeur.

ravins resserrés, mais ils ne peuvent être entrepris au travers d'un large fleuve coulant dans une plaine unie et sujet à des crues formidables. D'ailleurs, la retenue des charriages dans le lit des torrents ne peut produire ses effets qu'avec lenteur et partiellement. Le concours du temps est indispensable même avec le meilleur succès. Quant à la végétation, gazons, arbrisseaux ou futaies, ce n'est qu'après de nombreuses années qu'on peut obtenir quelques résultats efficaces et souvent partiels. Cependant, pour les riverains du Rhin, le danger est permanent et toujours grave; ils ne peuvent attendre le développement du système des barrages et des plantations.

Je passe donc sans m'y arrêter sur les moyens de cette nature, quelque excellents qu'ils soient ou puissent être en eux-mêmes dans un grand nombre de contrées montagneuses et malgré les quelques exemples très réussis que j'ai pu voir dans divers cantons de la Suisse. Je ne puis qu'applaudir aux efforts qui se poursuivent dans cette direction; mais ils ne me paraissent point applicables à la correction actuelle du Rhin. Des reboisements ne peuvent profiter qu'aux générations futures et dans des limites bien insuffisantes. C'est en vue de l'avenir et d'un avenir éloigné que les administrations publiques doivent encourager ce genre d'améliorations.

En examinant plus attentivement les charriages du Rhin, je suis enclin à penser que leur importance résulte peut-être davantage de leur mobilité que de leur abondance. Le lit du Rhin, tel que nous le voyons, est tapissé de gravier. Celui-ci recouvre des surfaces considérables, mais ces dépôts si étendus datent de plus ou moins longtemps. Sur une grande largeur en dehors du lit ordinaire, on ne marche que sur des graviers et des sables qui sont peut-être les mêmes depuis plusieurs années. Chaque crue les remue, les déplace un peu, en emporte quelque partie qu'elle dépose un peu plus loin. Chaque crue forme ainsi des bancs, des îlots, qui sont remaniés par une crue suivante. Mais, dans ce mouvement incessant, quelle est la part des nouveaux apports? Combien de matériaux nouveaux sont-ils amenés dans ce travail continu et si capricieux du courant. Les graviers sur lesquels nous marchons le long de la rive sont peut-être les mêmes depuis un très grand nombre d'années, un peu déplacés ou diminués par l'usure.

Une remarque qui doit être faite est celle de l'usure. Le volume moyen des graviers du lit diminue très rapidement à mesure qu'on avance vers le lac. Ils s'usent les uns par les autres, sont réduits en volumes de plus en plus petits et enfin en sable et en limon, en sorte que dans le bas de la vallée on trouve des dépôts abondants de sable et de limon que l'eau entraîne avec facilité; mais déjà vers Au et vers Rheineck on ne trouve que peu de gravier propre au service des ponts et chaussées pour l'entretien des routes, on ne trouve que du menu gravier utilisable pour promenades, trottoirs ou jardins.

Cela explique l'accord qui s'établit entre le mouvement des charriages et la diminution progressive des pentes du fleuve.

Des pesées faites dans les régions inférieures nous ont fait constater une diminution rapide du volume moyen des galets transportés, tandis que ceux-ci sont de plus en plus enfouis dans une masse de sable ou même de limon fin.

Il résulte de ces remarques que les charriages se détruisent en partie par eux-mêmes, par l'usure incessante de leurs éléments et que le menu sable qui en résulte, poussé jusqu'au lac où il va se déposer, diminue d'autant la masse des maté-

tériaux qui peuvent se déposer dans le lit. La nature schisteuse des roches de quelques vallées des Grisons produit, non pas seulement du sable par la trituration, mais un limon fin et léger qui rend l'eau du Rhin habituellement trouble et qui ne se dépose qu'avec lenteur dans une eau devenue absolument tranquille. Ce limon est précieux pour les colmatages dont je parlerai plus loin.

Un ingénieur autrichien a évalué à 430 000 ou 200 000 mètres cubes la quantité des matières que chaque année le Rhin vient verser dans le lac¹, mais ces évaluations ne reposent sur aucune base réelle, on ne peut y attacher d'importance.

Quel que soit le caractère insuffisant de toutes ces appréciations, il n'en reste pas moins que les dépôts de gravier et de sable jouent un rôle dans le régime du fleuve. Quelques personnes l'exagèrent; je suis disposé à le croire moins fort en réalité qu'il ne l'est en apparence, mais toujours est-il qu'il faut en tenir compte dans toute étude de correction. Quelques vieillards affirment, me dit-on, que le Rhin relève son lit avec le temps; je n'ai aucune raison pour ne pas le croire, mais ce qui manque dans la question ce sont les mesures vraies et effectives. Des souvenirs de vieillards sont quelque chose de respectable, mais cela ne nous dit pas dans quel endroit, dans quel espace de temps, un relèvement peut être constaté et mesuré; s'il est régulier, permanent ou simplement accidentel, produit par quelque cause connue ou supposée?

Ces questions sont importantes pour la direction des endiguements et il est regrettable qu'on en soit si souvent réduit aux appréciations plus ou moins vagues, qui ne sont fondées sur aucune mesure exacte ou qui datent d'une époque assez reculée. Dans ce sens, je ne saurais assez insister pour que les gouvernements accordent les sommes indispensables pour établir des moyens d'observation sûrs et précis, et aussi durables que possible, de manière à obtenir pendant de longues périodes des repères exacts qui puissent servir d'une génération à une autre. Les hommes changent, les ingénieurs se succèdent dans un service, et c'est souvent à force de peines et de recherches qu'on arrive à constater quelques chiffres vrais, faute de quoi, on reste dans le vague des simples souvenirs. Il me paraît évident pour le Rhin que son lit doit se relever peu à peu par les dépôts des charriages dans les endroits où la largeur du lit, la pente plus faible ou telle autre cause favorise les dépôts, mais je crois ce relèvement plus faible et plus lent qu'on ne le pense communément. Il importe donc de saisir toutes les occasions de connaître un peu exactement les limites de temps et de progrès de ce phénomène.

J'ai déjà mentionné la pente du fleuve dans la section dont je m'occupe, le profil en long présente l'aspect d'une courbe concave, que quelques ingénieurs, en Autriche, ont voulu assimiler à un fragment de cycloïde renversée, et on a émis l'idée qu'on devait régler les endiguements de manière à obtenir une cycloïde aussi exacte que cela se peut. Cette courbe ne s'écarte que peu dans son ensemble d'un fragment de parabole ou de toute autre courbe théorique, telle que la cycloïde, mais ce n'est vrai qu'en moyenne et en gros, comme l'observe M. Dausse dans sa première étude de 1856.

Il me paraît oiseux de vouloir assujettir un fleuve variable à

¹ *Memoriale über die Rhein-Korrektion*, von Hartmann, Oberingenieur, 1. Mai 1850, St. Gallen.

fond mobile à une règle de ce genre et surtout d'entreprendre aux frais des contribuables des travaux coûteux de correction ou d'endiguement dans cette pensée, malgré les mille causes qui peuvent modifier chaque point et déjouer tous les calculs.

On sait que la cycloïde est la courbe décrite dans l'espace par un point d'une circonférence de cercle qui se meut sur une ligne donnée, idée qui peut être facilement rendue plus concrète et intelligible par l'exemple de la courbe que trace dans l'espace un point quelconque de la circonférence d'une roue de voiture qui chemine sur une route. C'est aussi dans cet ordre de courbes qu'on peut calculer le chemin parcouru dans les espaces célestes par les divers corps qui s'y meuvent. Cette courbe géométrique reçoit aussi quelques applications en mécanique; mais en hydraulique et pour un fleuve réel d'une certaine importance, je crois qu'il serait difficile de tenir compte de tous les éléments si multiples et si changeants qui ont quelque influence sur son régime pour conformer ses digues à une courbe théorique spéciale. C'est cependant ce qui a été proposé.

La cycloïde est remarquable par cette propriété qu'on sait et qui se démontre par l'analyse que si un corps grave est abandonné à l'action de la gravité au haut d'un canal A B., ayant la forme d'une cycloïde renversée, mais sans frottement, l'arc C B, fragment de cette courbe parcouru, sera celui de la plus vite descente pour aller de C en B; en sorte qu'en donnant au canal une tout autre forme que celle de la cycloïde, même celle de la ligne droite, il serait parcouru dans une plus longue durée de temps que par l'arc cycloïdal.

Mais les corps ne se meuvent pas sur la terre sans frottement et ne font pas le calcul de la durée de leur chute et, de plus, dans un fleuve les causes de perturbation sont nombreuses et inévitables. L'eau subit l'influence de la nature du lit, des variations du débit, de celle des charriages ou des affluents, en sorte qu'on ne peut s'attacher à une courbe idéale théorique qui, en pratique, est irréalisable. La courbe formée par le lit naturel d'un fleuve, échappe à tout calcul certain, faute de remplir les conditions théoriques des géomètres. Cette courbe d'ailleurs, fruit du régime séculaire du fleuve, est-elle une cycloïde renversée ou une autre courbe se raccordant en tangente au niveau du lac?

Un travail de M. Martins Kink, ingénieur en chef autrichien, qui date déjà d'une quinzaine d'années, pose la cycloïde comme règle, mais sans autre démonstration; il néglige surtout de démontrer pourquoi le Rhin doit suivre cette courbe et non une autre. D'autres après lui ont fait étalage d'érudition sans apporter plus de démonstration, mais en affirmant que la nature recherche les lignes simples dont les corps célestes nous donnent une idée. C'est une préférence de sa part, comme jadis on prétendait qu'elle a horreur du vide; c'est aux géomètres théoriciens à rechercher la valeur de ces idées qui, pour les travaux du Rhin, ne peuvent être d'aucune utilité pratique.

Je me suis un peu étendu sur ce sujet parce que ces idées ont été répandues dans le public, dans un but que je n'ai pas à rechercher, et ont momentanément servi de motif d'opposition, ce qui a pu causer quelques hésitations administratives.

Le fait principal des pentes du Rhin, c'est leur diminution successive qui fait diminuer la vitesse du courant et par conséquent aussi la force de charriage; c'est ce dont on doit tenir compte dans tous les projets.

Avant de terminer ce qui concerne la description du Rhin, je dois rappeler que le gouvernement de Saint-Gall a fait établir, sur toute la rive gauche, une série de 125 bornes repères, en pierre de taille, fortes et bien visibles, espacées entre elles de 600 mètres environ, portant chacune un numéro d'ordre et le chiffre de leur hauteur au-dessus du lac. Des plans à grande échelle ont été levés et ces repères y sont indiqués. Cette précaution administrative, fort bien entendue, a été fort utile pour l'étude et la conduite des ouvrages. Malheureusement cela s'est fait alors que la rive, encore fort irrégulière et parfois inabordable, ne permettait guère des mesurages exacts. Ces repères ne sont donc pas tous bien à bonne distance du fleuve, ni bien rigoureusement espacés, mais cependant ils sont d'autant plus utiles que par chaque point on a fait passer un nivellement transversal, qui est dirigé sur les deux rives sur quelque point marquant, tel qu'un clocher d'église. Ces nivellements, soigneusement dessinés et cotés, forment un atlas précieusement conservé au bureau de Saint-Gall.

J'ajouterai enfin que sur toute la section, dès le pont de Tardis jusqu'au lac, il n'existait aucun pont sur le Rhin, sauf celui du chemin de Ragatz, construit peu d'années avant qu'on exécutât la correction du fleuve. Toutes les communications d'une rive à l'autre se faisaient par des bacs.

Tel était le Rhin en 1862 quand l'entreprise de la correction a été étudiée dans son ensemble et décidée.

SYSTÈME D'ENDIGUEMENT

Tel que je viens de le décrire, le Rhin atteint les intérêts des habitants de diverses manières, que je réduis à quatre points principaux.

a) Les eaux du fleuve pouvant atteindre un volume de 3000 mètres cubes et s'élever en proportion, menacent de renverser les digues, y causer des brèches plus ou moins graves et de se déverser violemment sur la contrée habitée. C'est ce qui est arrivé si souvent, causant à chaque fois des désastres d'autant plus redoutables que le sol de la vallée est plus bas et plus facilement affouillable.

b) La hauteur habituelle du lit ne permet pas aux eaux naturelles de la plaine de se déverser directement dans le Rhin avec une pente suffisante. Elles doivent aller chercher leurs embouchures plus bas et plus loin, ce qui allonge leur cours et les rend paresseuses et stagnantes, au détriment des terres qui deviennent toujours plus marécageuses. Parfois même l'eau du Rhin, dominant celle de ces petits ruisseaux, les refoule et en arrête complètement l'écoulement jusqu'à de grandes distances.

c) L'eau du Rhin, pendant la saison des hautes eaux, pèse sur le sol qui est éminemment perméable et provoque des infiltrations par le sous-sol, ce qui fait surgir souvent, bien en arrière des digues, comme des sources en divers points de la plaine et provoque ainsi de plus en plus la formation de marais là où l'on récoltait jadis divers produits. Cet effet de la pression hydrostatique se remarque souvent à des distances assez grandes, sans que les digues elles-mêmes soient dégradées.

d) Enfin la largeur irrégulière du lit, qui va de 100 à 600 mètres, non seulement fait perdre une grande superficie de terrain sur les deux rives, mais en offrant au courant de larges espaces pour s'étendre, lui font perdre sa vitesse et sa force

de charriage, en sorte que le mal s'augmente de lui-même chaque année, ce qui rend une correction rationnelle tout à fait urgente ; chaque année de retard agrandissant les dangers de la situation.

Indiquer ces quatre inconvénients principaux, c'est presque indiquer le moyen d'y remédier. En effet, si par une régularisation des deux rives, on parvient à obliger le Rhin à concentrer son courant et à pousser ses charriages plus au loin en les usant davantage, et si cette mesure est telle que non seulement les graviers apportés cessent de se déposer, mais que le courant, plus énergique, puisse arracher du lit les dépôts antérieurs, le lit s'approfondira d'autant ; avec un lit plus profond les irrutions seront moins à craindre, les eaux naturelles de la plaine auront un écoulement plus facile, les filtrations par le sous-sol diminueront de durée et d'importance et enfin on aura gagné sur le lit actuel tous les espaces aujourd'hui stériles en dehors de l'alignement nouveau de la rive.

Ainsi, par le seul fait de la plus grande concentration du courant, les quatre inconvénients signalés ci-dessus seront atténués dans une certaine mesure, je ne dis pas corrigés. Malheureusement les hommes ne peuvent obtenir de correction absolue avec les faibles ressources dont ils disposent comparative-ment aux difficultés si variées que la nature des choses leur oppose. Mais si les hommes ne peuvent se flatter d'atteindre un résultat complet et définitif, ils doivent y tendre et s'en rapprocher de tous leurs efforts.

Telle est la pensée fondamentale qui a présidé et préside encore à l'entreprise décrétée en 1862. Je puis maintenant aborder la question du système d'endiguement, renvoyant à la fin de ce mémoire de dire quelques mots des ouvrages complémentaires qui sont entrepris dans le canton de Saint-Gall comme une conséquence des travaux exécutés pour la correction du fleuve.

Dès que les chambres fédérales eurent adopté le décret du 24 juillet 1862, le gouvernement de Saint-Gall, sûr de l'appui efficace de la Confédération, s'empressa de s'occuper des mesures d'exécution qu'il avait à prendre et déjà le 4 février suivant l'ingénieur en chef lui transmettait le programme des travaux qu'il allait faire exécuter, en indiquant le système qu'il entendait appliquer et dont il attendait la ratification. Ce système était franchement l'endiguement parallèle ou longitudinal, par opposition au système en éperons ou orthogonal, préconisé par quelques ingénieurs éminents. Ce programme, après un examen attentif, reçut l'approbation du conseil fédéral le 20 mai 1863.

Quant à l'organisation administrative et financière, le gouvernement du canton en avait déjà fait l'objet d'une loi du 21 décembre 1861 et de divers arrêtés.

Le canton des Grisons avait aussi pris ses mesures par son arrêté du 21 octobre 1862, pourvoyant ainsi à la marche technique et financière de sa part de l'entreprise.

Par une circonstance fortuite, les deux systèmes d'endiguement se sont trouvés à la même époque adoptés en Suisse, l'un pour le Rhin, l'autre pour le Rhône, et cela non pas pour des sections partielles, mais pour des longueurs importantes. En Valais, M. Venetz, ingénieur de ce canton, faisait une application hardie du système d'éperons transversaux dont il avait déjà fait quelques petits essais, dirigé en cela par l'ouvrage publié à Paris en 1797 par le citoyen Fabre, ingénieur en chef

des ponts et chaussées. Dans cette même année, M. Hartmann adoptait le système longitudinal pour le Rhin.

Aujourd'hui, les deux entreprises sont arrivées bien près de leur terme. Le Rhin est endigué sur plus de 60 et le Rhône sur plus de 100 kilomètres. On peut observer les effets de l'un et de l'autre système, surtout après un certain nombre d'années. Mais il ne sera pas sans intérêt de chercher à se rendre compte des circonstances qui ont pu exercer quelque influence sur le choix fait et sur la réussite de chacun d'eux.

Le système orthogonal est discuté par divers ingénieurs ; ainsi le citoyen Lecreux, inspecteur général, en 1804¹, en parle cependant dans un sens dubitatif et présente diverses objections aux idées du citoyen Fabre.

M. Vallès semble, de son côté, recommander les digues transversales et les bassins de retenue des crues². Mais ces observations s'appliquent surtout à certains fleuves, tels que la Loire, qui coulent dans de larges vallées et n'ont que des très faibles pentes ; il s'occupe surtout des pluies et du reboisement et dans ces questions son ouvrage est précieux à consulter. M. A. Surell a traité magistralement l'étude des torrents des Alpes, que j'ai citée plus haut. Mais encore cet important ouvrage confirme ce que j'ai dit au commencement de ce mémoire. C'est que chaque ingénieur, préoccupé surtout du régime des cours d'eau qui ont été l'objet de son activité principale, en a fait le sujet presque exclusif de ses réflexions et de ses études et n'a pu tenir qu'un compte moins attentif des cours d'eau de régimes très différents et auxquels les mêmes règles sont inapplicables. C'est un écueil pour tous et auquel un bien petit nombre échappe. Il est toujours dangereux de vouloir trop généraliser des observations souvent pleines de justesse dans le point de vue qui leur a donné naissance, mais erronées dans d'autres cas.

Et d'ailleurs, de quoi se compose le régime d'un fleuve ? N'est-ce pas d'un ensemble de circonstances nombreuses et variables à l'infini qui toutes ont leur influence et leur moment d'action et auxquelles l'ingénieur doit être attentif quand il est appelé à diriger des travaux toujours coûteux et qui peuvent exercer une influence prolongée sur le bien-être des habitants.

Parmi les ingénieurs que je pourrais citer, je me bornerai à M. Dausse, ancien ingénieur en chef des ponts et chaussées et auteur de dix mémoires importants lus à l'académie des sciences de Paris³, réunis en une nouvelle édition. M. Dausse a vu par lui-même les ouvrages si nombreux et si importants de la haute Italie, ce pays classique des études hydrauliques. Il préconise les constructions orthogonales pour les avoir vues réussir dans plusieurs cas remarquables, ce qu'il appelle des couples de digues transversales, pour rectifier le courant et protéger les ponts. Il en donne de nombreux dessins et en étudie les circonstances. A ces divers titres, M. Dausse me fournit les plus forts arguments en faveur du système orthogonal, parce qu'il l'a vu et bien vu, dans des pays où il est appliqué par des ingénieurs du plus grand mérite et pour des cours d'eau de divers régimes.

¹ Lecreux, inspecteur général des ponts et chaussées, *Recherches sur la formation des rivières*. — 1 vol. in-4. Paris 1804, chez Bernard.

² *Études sur les inondations*, par M. F. Vallès, ingénieur en chef des ponts et chaussées. — 1 vol. in-8. Paris, Victor Dalmont éditeur, 1857.

³ *Études sur les inondations et l'endiguement des rivières*. — 1 vol. in-4, pl. Paris 1872, imprimerie nationale.

Malgré ces avantages et le mérite incontestable de cet auteur, je ne puis m'empêcher de lire dans ses propres études bien des exceptions et des hésitations, en sorte qu'après une étude réitérée de son ouvrage je suis de plus en plus convaincu que le système orthogonal n'aurait absolument pas pu convenir aux circonstances du Rhin, malgré que, depuis l'époque où je proposais aux autorités fédérales de donner leur approbation au programme de l'ingénieur en chef de Saint-Gall, en mai 1863, les endiguements du Rhône ont été exécutés sur toute la longueur du fleuve, de Brigue au lac Léman, et ont fourni une preuve éclatante de succès. Dans la notice publiée en novembre 1877 par M. le chef du département des ponts et chaussées du canton du Valais¹, il n'hésite pas à dire que le succès de la correction du Rhône est *évidemment dû* au système d'endiguement appliqué. Or ce système, c'est celui des éperons proposé en 1797 par Fabre, appliqué plus tard par Venetz père, puis ensuite par Venetz fils et enfin continué par M. Chappey et le département dont il est le chef.

Le succès même de ces importants travaux m'oblige à en donner une courte description et à étudier si les circonstances locales si favorables à ce système n'ont pas exercé une influence heureuse sur cette application si en grand, et si le succès obtenu sur le Rhône aurait pu être obtenu également sur le Rhin.

Je pourrais combattre les idées des partisans des digues orthogonales et des bassins réservoirs par les déclarations si nettes et catégoriques de M. J. Dupuit, inspecteur général, à page 201 de sa deuxième édition². Je pourrais les combattre surtout par les travaux si nombreux poursuivis dans toute l'Europe et dans tous les temps par les ingénieurs les plus en renom de chaque pays et de chaque époque. Cette application si générale et si soutenue du système longitudinal est une présomption sérieuse en sa faveur, malgré les quelques exemples de succès obtenus par le système opposé. Mais je tiens à une discussion complète qui ne laisse subsister aucun doute sur le choix qui a été fait en ce qui concerne le Rhin et auquel j'ai officiellement contribué par mes divers rapports et mes propositions.

Le Rhône dans toute la longueur de sa profonde vallée, de Brigue au lac Léman, sur près de 140 kilomètres, est endigué entre deux levées parallèles et continues distantes de 80 à 110 mètres l'une de l'autre, selon la section, les largeurs étant augmentées à mesure que le fleuve grossit par ses affluents qui sont forts et nombreux. Entre ces deux levées parallèles et insubmersibles s'avancent de 30 en 30 mètres des éperons en maçonnerie sèche, larges de 4^m20 au sommet, longs de 20 à 24 mètres, s'enracinant perpendiculairement à la levée par le sommet et s'appuyant à leur pied vers le bord du fleuve sur une tête solide contenue par 7 à 8 piliots battus dans le sol du lit.

La distance laissée libre entre les têtes des deux éperons de chaque rive, qui sont vis-à-vis l'un de l'autre, est de 30 mètres à Brigue et s'augmente jusqu'à 60 mètres vers le lac. La pente

¹ Notice sur la correction du Rhône, 1864 à 1877, publiée par le chef du département des ponts et chaussées. Sion 1877, imprimerie Beeger.

² Etudes théoriques et pratiques sur le mouvement des eaux, etc., par J. Dupuit, inspecteur général des ponts et chaussées. — 1 vol. in-4. 2^e édition. Paris, Dunod éditeur, 1863.

dorsale de l'éperon est ainsi d'environ un cinquième de la longueur. Dans ces conditions, le fleuve n'est libre de couler qu'au milieu, entre les deux têtes d'éperons qui lui livrent le passage. Or ces éperons se retrouvent de 30 en 30 mètres. C'est donc une série de défilés qui se répètent sur toute la longueur du fleuve. L'action du courant sur le fond et les graviers ne peut ainsi s'exercer qu'entre les deux têtes d'éperons. Mais dans les eaux plus hautes, les éperons sont plus ou moins recouverts d'eau, et celle-ci tend à déposer ses sables et menus graviers dans l'intervalle d'un éperon à l'autre, lequel se remplit ainsi de dépôts, s'appuyant contre le pied de la levée principale.

Cette levée longitudinale est généralement large de 4^m50 à 5 mètres au sommet, réglée à hauteur insubmersible par les plus hautes eaux connues. Le talus du côté intérieur est revêtu de perrés réguliers, tandis que le talus extérieur est simplement gazonné.

Ainsi, par cette disposition régulière, le courant est dirigé et maintenu par les éperons dans le lit central où il tend à se concentrer, et à chaque nouveau couple d'éperons il est repoussé vers ce centre. La pente des éperons est telle que cet effet se reproduit par les différentes hauteurs d'eau et que peu à peu les espaces libres entre deux éperons consécutifs sont comblés par les dépôts qui s'y forment. A ce moment, on ferme en partie ces espaces par des murs parallèles au fleuve, qui donnent aux têtes d'éperons la forme en T proposée par Fabre.

Les affluents du Rhône, qui sont nombreux et quelques-uns fort importants, sont traités dans la plupart des cas d'une manière analogue.

Maintenant, ce qui justifie cette disposition générale en éperons rapprochés, outre sa réussite évidente jusqu'à ce jour et les principes rationnels sur lesquels elle est fondée, c'est que les circonstances du Rhône s'y prêtaient admirablement.

Le Rhône n'est guère plus du quart du Rhin dans ses plus fortes crues. Comme le Rhin, il grossit en été et reçoit les eaux d'une vaste étendue de glaciers. Comme lui, il coule dans un sol de gravier, fruit des dépôts successifs de toutes les eaux qui se jettent dans la vallée. Mais, plus favorisé que le Rhin, il coule dans une contrée qui dépend sur les deux rives d'un même Etat souverain en matière de travaux publics. C'est à peine si l'on doit mentionner que le canton du Valais seul occupe les deux rives jusque près des bords de Lavey où commence sur la rive droite le territoire du canton de Vaud. Or cette rive droite elle-même a été endiguée depuis bien des années par les autorités vaudoises, en suivant, à peu de détails près, le même système d'éperons successifs. Un accord s'était établi dès longtemps entre les administrations riveraines des deux cantons.

Cette circonstance d'être libre, d'agir sur les deux rives selon un plan rationnel, de n'avoir à régler qu'un fleuve dont les débits sont de 200 mètres cubes en moyenne et varient entre les limites extrêmes de 60 à 720 mètres cubes par seconde, est certainement pour beaucoup dans le choix qui a été fait du système adopté. Il exige, en effet, que les éperons des deux rives soient rigoureusement en face l'un de l'autre. Les têtes forment ainsi une passe qui dirige le courant sur la passe suivante; toute déviation entraînerait des courants obliques qui deviendraient offensifs sur un point ou sur l'autre.

Mais à mes yeux le succès de ces ouvrages tient aussi beaucoup à ce que ces nombreux éperons, si voisins les uns des autres, sont fortement inclinés vers le centre du lit. Une pente de 20 % oblige l'eau à concentrer toujours sa force et son poids vers le centre; le lit peut se creuser plus ou moins, les têtes sont assurées par des pilotis suffisants, et dans les plus hautes crues l'eau ne peut passer que faiblement sur le haut de l'éperon sans atteindre la levée parallèle. L'ensemble forme donc comme les profils répétés d'une cunette générale, qui remplace sans cesse le fort courant dans le centre.

Il paraît du reste que l'économie du projet s'est bien trouvée du système, les matériaux convenables s'étant trouvés partout à petite distance et sans exiger de charrois coûteux. Le Rhin n'a pas eu cet avantage au même degré.

Le succès de ces travaux est jusqu'à ce jour incontestable et très intéressant à visiter, ce que bien des voyageurs peuvent faire sans descendre de wagon, le chemin de fer du Simplon étant établi presque partout en vue du Rhône et dans bien des points sur la digue latérale elle-même, élargie et relevée dans ce but.

Je pourrais citer quelques autres exemples d'endiguement avec éperons entrepris en Suisse. Le canal Escher de la Linth en est un. Mais les circonstances sont si différentes qu'on ne peut faire aucune comparaison utile. Un autre exemple est celui des gros épis ou éperons construits le long de l'Aar sous Belp et Muri, à environ 6 kilomètres au-dessus de la ville de Berne. Ces éperons datent d'environ une cinquantaine d'années, et ils sont loin de protéger les rives. Leurs formes massives, en fascinages et irrégulièrement placées, provoquent dans les grandes eaux des remous dangereux; les bords sont attaqués, des brèches se forment et causent des inondations et des irruptions latérales, et, loin de se creuser de plus en plus par l'effet d'un courant concentré, le lit paraît s'exhausser graduellement, ce qui est l'objet de plaintes de la part des propriétaires riverains. Ainsi donc, dans ce cas particulier, le système d'éperons successifs sur plusieurs kilomètres de longueur, après un demi-siècle, ne paraît pas répondre au but de ses auteurs et entraîne des frais continuels de réparation.

Le système suivi en Valais paraît plus rationnel et l'on est fondé à en espérer un succès durable, ce que la génération future pourra mieux juger que nous.

M. Dausse lui-même, malgré ce qu'il expose en faveur des couples et des digues orthogonales, ne cache pas (pages 202 et 203) que M. Mosca, de Turin, paraît en revenir purement et simplement aux digues longitudinales, mais *submersibles*, en sorte que, malgré le grand nombre de couples qu'il a vu construire et fonctionner dans la haute Italie, il ajoute qu'on doit *tendre sans cesse à l'endiguement continu naturel et modéré, que je soutiens être le meilleur* (sic).

Ces remarques suffisent pour démontrer que le système orthogonal, qui a bien réussi dans quelques cas, n'exclut point la digue continue, mais s'y associe et l'appelle par la suite. M. Dausse le laisse bien comprendre dans plusieurs passages de ses mémoires. Il cite d'ailleurs les opinions exprimées par divers ingénieurs italiens de haute réputation, qui font voir que le système orthogonal par couples est surtout considéré comme un travail préparatoire destiné à préparer l'endiguement continu pour le moment où les couples auront produit l'effet qu'on en attend.

On lit en effet dans la neuvième étude présentée à l'académie des sciences le 27 juin 1864 par M. Dausse les paroles suivantes¹ :

« Mais il faut aller plus avant. Il importe de savoir précisément ce que ferait aujourd'hui M. Mosca. Cette question essentielle, je la lui ai adressée, non sans quelque insistance, le 17 novembre 1858 à Turin, et voici fidèlement, ni plus ni moins, la réponse que j'ai eu le bonheur d'en obtenir : *M. Mosca laisserait la rivière suivre son cours naturel et se bornerait à la réunir dans un lit unique par des digues submersibles.*

» Qu'est-ce à dire, je le demande, sinon que M. Mosca ferait ce que j'ai eu l'honneur de proposer à l'académie avant comme après novembre 1858. Avant : d'une manière générale (première étude du 30 juin 1856); après : pour la Loire (cinquième étude du 30 décembre 1861). Ce système d'endiguement continu, naturel, modéré, rationnel, me paraît donc avoir, du moins au principal, le suffrage de l'ingénieur qui a eu, je crois, le plus à s'occuper à fond d'endiguement, qui a le plus acquis d'expérience sous ce rapport; il peut donc être désormais à bon droit, ce me semble, donné pour le vrai.

» Mais tout n'est pas dans cette conclusion sommaire, quelque capitale qu'elle soit; entraîne-t-elle condamnation, abandon du système orthogonal? Voilà ce qu'il faut encore savoir. Pour mon compte je suis si loin de dire oui que je conseille au contraire de commencer par des couples sur toutes les rivières plus rapides que la Loire, fussent-elles même aussi rapides que la Stura, afin d'éviter les grandes et brusques réductions de pentes qui bouleversent les digues continues et en accroissent énormément la dépense; mais j'ajoute aussitôt qu'on doit tendre sans cesse à l'endiguement continu, naturel et modéré, que je soutiens être le meilleur.² »

Cette citation suffit pour montrer que le système orthogonal, même dans l'esprit de son partisan le plus déclaré, n'est point sans restriction, et qu'il n'est affirmé que comme moyen d'amener un cours d'eau un peu rapide à la pente plus favorable à un système *continu modéré, rationnel*, que l'auteur déclare être le meilleur.

Oserais-je ajouter que ces mêmes idées sont celles de mon honorable confrère M. le colonel R. La Nicca, de Coire, qui en a fait l'objet de ses propositions et de quelques applications pour le Rhin dans le Domleschgerthal, pour la Landquart dans la vallée du Prättigau et aux environs du pont de Tardis, déjà dans les années 1825 à 1830, travaux peu considérables comme étendue ou importance générale, mais auxquels on a accordé trop peu d'attention comme système à étudier.

Qu'est-ce à dire? puis-je demander à mon tour, sinon confirmer ce que j'ai dit plus haut : c'est qu'on ne peut procéder par système fixe dans aucun cas, tant est grande la variété des conditions qui se rencontrent pour former le régime d'un fleuve, ce qui explique la multitude de travaux différents proposés ou exécutés par les ingénieurs les plus capables dans tous les pays, outre que souvent, trop souvent, les difficultés administratives et financières viennent apporter leurs entraves aux projets les mieux conçus.

Cette incertitude relative en ce qui concerne le système à

¹ Page 4 de l'édition de 1864, ou page 202 de l'édition de 1872.

² Les personnes qui posséderaient les deux éditions de cette note pourront voir qu'il existe une légère variante dans le texte original. Mais cette variante n'a aucune importance sur le fond des pensées.

préférer, exprimée si positivement par les partisans décidés du système orthogonal, est une justification évidente du système longitudinal adopté pour le Rhin, malgré la réussite très satisfaisante des travaux du Rhône dans le canton du Valais. Au surplus, il est temps d'en revenir au Rhin et de dire en quelques mots les principales circonstances que M. Hartmann a fait valoir à l'appui de son programme de 1863.

Une première observation se rattache à la souveraineté des Etats riverains. Si la Suisse possède toute la rive gauche et plus de neuf kilomètres de la rive droite et peut ainsi se mouvoir en liberté dans ces limites, il n'en reste pas moins 65750 mètres de rive droite à la principauté de Lichtenstein et à l'empire d'Autriche. Ce n'est ainsi que par voie de convention qu'on peut traiter les questions d'endiguement de cette partie. Des conventions ont été faites déjà en 1837; des plans exacts ont été levés, signés et paraphés par les autorités compétentes des deux pays. Ces conventions fixent la ligne d'endiguement et sont faites dans le système longitudinal. On a travaillé depuis lors selon ces conventions et il ne peut donc être question de revenir en arrière et de les mettre de côté; déjà les quelques petites modifications locales qui ont eu lieu n'ont pu être faites que d'un commun accord, après des conférences réitérées entre les ingénieurs et les autorités des Etats intéressés.

En second lieu, le lit du Rhin étant transversalement plus élevé que diverses parties des terrains en arrière, la rive ne présente pas à proximité des points d'appui suffisants pour y relier les éperons, qui devraient donc être prolongés indéfiniment en arrière ou exigeraient des points d'appui artificiels. D'ailleurs la très grande largeur du lit exigerait des éperons au travers de bancs de pur gravier, souvent fort élevés et toujours perméables, ce qui provoquerait une augmentation excessive de la dépense. Ces bancs de gravier étant d'ailleurs affouillables exigeraient des soins contre ce danger.

Enfin dans le canton de Saint-Gall lui-même, ainsi que sur un quart environ de la longueur dépendante du canton des Grisons, le système parallèle ou longitudinal a déjà reçu bien des applications sur des sections assez étendues. Il ne pourrait non plus être question d'abandonner tout cela pour se jeter dans un système nouveau. Le Rhône à cette époque n'avait pas été endigué. L'exemple ne pouvait donc en être invoqué, et de plus sa pente, son débit, sa largeur, toutes les circonstances de son cours sont bien différentes de celles du Rhin.

Adoptant donc en principe le système des digues longitudinales ou parallèles, sans renoncer cependant à construire quelques digues transversales pour obtenir temporairement certains résultats, il restait à déterminer la largeur à donner au lit. Mais ici encore les conventions intervenues longtemps auparavant entre les gouvernements avaient fixé des lignes de correction en harmonie avec les débits du Rhin, tels qu'on les connaissait ou croyait les connaître. La largeur était fixée à 120 mètres sur toute la principale longueur et rélargie à 150 mètres vers la section inférieure.

Malheureusement, en quelques points, les hommes qui, à cette époque, ont été chargés de ce travail, soit pour diminuer les dépenses, soit pour utiliser des tronçons de digues ou des ouvrages existants, ou pour d'autres motifs, ont fixé la ligne de correction sans se tenir attentivement à ces largeurs. C'est ainsi que devant Montlingen le Rhin conserve une largeur excessive qui provoque des dépôts continuels et que l'approfon-

dissement du lit ne se fait pas, tandis que tous les efforts devraient tendre à favoriser l'approfondissement du lit ou tout au moins obliger le fleuve à pousser de plus en plus ses charriages vers l'aval et à ne plus former de dépôts.

La largeur de 120 mètres paraît d'ailleurs avoir le succès qu'on en attend, au moins partiellement pour la première partie, ce qui démontre la justesse d'appréciation de nos prédécesseurs en ce qui concerne la largeur à donner au fleuve. Mais en ceci il faut bien observer que le débit du Rhin est très variable, puisque nous l'avons constaté de 100 à 3000 mètres cubes par seconde. Dans ces conditions, il est évident qu'en basses eaux, en hiver, loin de remplir son lit, il serpente entre les rives et les bancs de gravier et ne peut déplacer ses charriages, il les dépose plutôt partout où quelque obstacle se présente, tandis qu'en été il occupe son lit d'une manière plus complète et pousse aisément ses graviers. Ces divers états du fleuve varient sans cesse d'une manière irrégulière, je dirais capricieuse, et qui dépend des variations de l'atmosphère que nul ne peut prévoir.

Comme je le dis plus haut, il importerait au but général de la correction d'obliger le Rhin à concentrer son courant de telle sorte qu'il puisse non seulement pousser ses charriages vers le lac en les usant de plus en plus les uns par les autres, mais encore qu'il puisse acquérir une force suffisante pour reprendre ses anciens dépôts, recreuser son lit et l'approfondir dans une mesure efficace. Ce résultat, s'il peut être obtenu, aura pour effet de faire cesser ou du moins d'atténuer les quatre inconvénients principaux que j'ai signalés.

Le moyen d'augmenter la force du courant consiste à resserrer son lit. C'est le plus simple et souvent le seul moyen pratique qu'on possède dans les cas de ce genre. La vitesse du courant dépend dans une certaine mesure du rapport existant entre l'aire de la section transversale du cours d'eau et son périmètre mouillé: c'est ce qui ressort clairement de la formule adoptée par tous les auteurs pour le mouvement permanent des eaux courantes. Cette formule est $V=C\sqrt{\frac{s h}{p l}}$ dans laquelle V est la vitesse, s la section transversale, p le périmètre mouillé, h la chute totale, l la distance ou longueur, en sorte que $\frac{h}{l} =$ exprime la pente ou I et $\frac{s}{p}$ le rapport que j'indique — R . C est un coefficient à fixer.

La valeur de chacune de ces expressions peut être mesurée pour chaque cours d'eau. C'est une affaire d'opération à effectuer; il ne reste que la valeur de C , coefficient qui est l'objet d'une série de recherches pratiques sur le débit réel. Ce coefficient en général est le résultat d'une série d'expériences faites par divers ingénieurs. Je rappellerai que Prony, Eytelwein, Bazin et d'autres se sont occupés de ces recherches, et qu'en Suisse M. Ganguillet et Kutter, ingénieurs à Berne, ont résumé dans un travail très complet ce qui concerne ces formules¹.

Il est facile, d'ailleurs, de se rendre compte de l'effet qui doit se produire par le resserrement du lit d'un fleuve. La section transversale change de forme, mais son aire ne change pas ou peu, tandis que le périmètre mouillé diminue. Or c'est ce périmètre qui, par son frottement, exerce une action modé-

¹ Versuch zur Aufstellung einer neuen allgemeinen Formel für die Bewegung des Wassers, etc., etc. E. Ganguillet und W. Kutter, Berne 1869.

ratrice sur le mouvement de l'eau. Cette action est donc moins énergique et l'on aurait le maximum de vitesse dans le cas où l'aire de la section serait la plus considérable avec un périmètre mouillé minimum, le cercle où certains polygones peuvent réaliser ces conditions ou s'en rapprocher.

L'augmentation de la vitesse augmente la force de charriage du courant, puisque l'équilibre de résistance des galets du fond se trouve modifié; de là résulte une augmentation de pente qui trouve sa compensation sur d'autres points. C'est ainsi que la seule modification de la largeur du lit entraîne après elle la modification du travail du courant sur le fond de la rivière.

Mais un rétrécissement excessif pourrait avoir des conséquences très graves par l'affouillement des digues. Il y a donc une proportion à choisir qui soit suffisante, sans excès, afin d'obtenir un résultat moyen entre les extrêmes, ce qui est bien difficile pour un fleuve aussi variable que le Rhin.

Sans doute, des ingénieurs ont été frappés surtout des sinuosités du fleuve entre ses deux rives et ont proposé un resserrement plus marqué, mais le débit constaté en 1868, les affouillements qui se produisent encore en quelques points, démontrent qu'il y aurait danger de resserrer le lit au delà des limites actuelles. Celles-ci, comme je le dis plus haut, témoignent en faveur de la sagacité de nos prédécesseurs, et si les dimensions adoptées ne paraissent pas toujours bien proportionnées aux exigences du fleuve, elles se rapprochent assez de la bonne proportion moyenne pour que nous ne puissions conseiller de les modifier. Revenir, d'ailleurs, sur les faits acquis et consacrés par des conventions formelles et par des dépenses considérables n'est pas possible, n'est pas même discutable pour notre génération.

Mais tout en observant que la largeur adoptée paraît satisfaisante, je n'en reconnais pas moins l'utilité d'en rechercher des preuves et d'observer les faits qui peuvent être des indices plausibles, à défaut de preuves certaines. Or j'ai pour le moment deux documents intéressants à faire connaître, en attendant que de nouvelles recherches et de nouveaux mesurages nous fournissent quelques indices plus complets ou plus certains.

Le premier de ces documents est un profil en long avec profils en travers qui embrasse tout le cours du fleuve soumis à la correction et a été dressé en 1869. Dans ce tableau, chaque profil, rattaché à ceux antérieurs, a été calculé en remblai et déblai, pour les cinq années de 1864 à 1869, comme cela se fait pour les profils d'un projet de route, et si l'on compare la somme des déblais à celle des remblais pour la partie du lit comprise entre les deux digues de rive espacées de 120 mètres, on trouve que le lit s'est déblayé dans son ensemble dans la proportion de 7^m40 cubes par mètre courant. C'est la quantité dont la somme des déblais surpasse celle des remblais.

Mais si l'on fait le même calcul en étendant les profils jusqu'aux secondes digues, dites arrière-bords, la masse des remblais qui se sont déposés surpasse le déblai d'une quantité équivalente à 48^m77 cubes par mètre courant.

Ainsi donc, malgré les imperfections inévitables de ces sortes de calculs, nous voyons qu'en moyenne le Rhin, réduit à 120 mètres de largeur, tend déjà à creuser un peu son lit, et il faut noter qu'à la date de ce travail les digues étaient encore loin d'être complètes, tandis que nous voyons que le fleuve, élargi jusqu'aux arrière-bords, dépose ses charriages dans

l'intervalle qui sépare les digues des deux lignes d'une même rive dans une proportion déjà notable.

Le rétrécissement du fleuve, déjà à cette époque où il n'était que commencé, a déjà exercé une influence heureuse dans le sens qu'on désire.

Le second document dont je tiens à parler est plus net et plus concluant que le précédent; il est le fruit d'un travail attentif de nivellement de l'ingénieur de section, M. Wey, qui a recherché par des opérations exactes dans quelle limite se trouverait confirmée l'opinion que nous avons tous d'un approfondissement du lit en aval du pont de Tardis et jusqu'au 48^e kilomètre.

Les profils, relevés avec soin et comparés avec ceux de 1848 soigneusement conservés, ont donné lieu à un profil en longueur comparatif, dont les teintes aussi bien que les cotes écrites font ressortir les différences. Cette comparaison, après une trentaine d'années, fait voir nettement que sur 11 kilomètres, dès le pont de Tardis, le Rhin s'est recreusé et approfondi d'environ 1^m05 à 1^m35; puis, au 12^e kilomètre, il se trouve une petite interruption vers Trübbach, après quoi l'approfondissement du lit se continue jusque sous le village de Sévelen au 18^e kilom.; plus bas, en suivant le cours du fleuve jusqu'au 48^e kilom., les relèvements du lit dominant ou alternent parfois avec quelques petits approfondissements partiels.

Ce travail est d'autant plus précieux pour l'étude du fleuve qu'il fait voir clairement non seulement les différences qui se sont produites pendant cette période de trente années, mais qu'il permet d'en voir les circonstances en chaque point et ainsi de se rendre compte des causes agissantes. Je citerai quelques points seulement.

Au 5^e kilomètre, il y a équilibre. L'approfondissement est interrompu sans qu'il y ait de relèvement. Cela provient de la masse des graviers qui sont apportés sur la rive gauche par la Tamina, torrent dont j'ai déjà parlé. Le Rhin n'a pas toujours la force de pousser ces matériaux volumineux plus loin, à moins qu'il n'éprouve lui-même une crue suffisante, ce qui arrive à peu près chaque été.

Plus loin, aux 8^e et 9^e kilomètres, vers Mels (rive gauche), il y a dépôt et relèvement plutôt qu'approfondissement. Cela provient de ce que les digues de Fläsch (rive droite) n'ont pas été continuées assez loin en aval vers la limite territoriale de la frontière suisse. Cette dernière partie ne protège aucun terrain de valeur. Le fleuve, vers la principauté de Lichtenstein, est bordé par des rochers qui forment la base du Fläschberg; l'endiguement n'a donc aucun intérêt pour le sol, en sorte que, malgré nos observations, il a été négligé. Cependant, le Rhin trouvant là, sur sa droite, une plage libre pour s'y étendre, s'élargit, perd de sa force de charriage et dépose une partie de son gravier, ce qui provoque un relèvement regrettable et rejette obliquement le courant contre la rive gauche. L'effet de cette lacune est très visible pendant les eaux moyennes ou basses. Il s'agit donc de prolonger la digue de droite (commune de Fläsch) d'environ 1 kilomètre, jusque auprès de la limite territoriale, travail qui sera, je l'espère, prochainement entrepris.

A Trübbach, le Rhin reçoit sur sa gauche la Saar, qui n'amène pas de charriages; mais au même point débouche le torrent sauvage qui a donné son nom au village. Ce torrent descend des flancs du Schollberg par un ravin abrupt et res-

serré; il amène dans ses crues une quantité considérable de gravier schisteux et calcaire qui se dépose devant l'embouchure. On a bien construit dans le ravin et jusqu'à son origine une trentaine de barrages solides qui produisent quelque amélioration, et on a reboisé les flancs partout où cela est possible; mais ces travaux sont encore récents et leur effet ne peut être immédiat, surtout en ce qui concerne la végétation forestière.

A Sevelen, vers le 20^e kilomètre, on ne trouve plus de traces notables d'approfondissement. Les relèvements du lit sont, au contraire, visibles et prédominent. Cela tient à ce que l'endiguement n'est un peu complet, même sur la rive gauche, que depuis peu d'années seulement et qu'il est encore loin de l'être sur la rive droite qui dépend de la principauté de Lichtenstein.

Jusqu'à présent, le Rhin a pu s'élargir et s'étendre à droite, y former des sinuosités et déposer une partie de ses charriages. Mais les travaux d'endiguement qui sont entrepris actuellement sur la rive droite parviendront à corriger ce point. Ces travaux, comme toujours, exigent des sommes importantes et ne peuvent progresser et produire leurs effets qu'avec une certaine lenteur. Cependant, depuis quelques années, l'administration de cette petite principauté a fait faire des progrès marquants à l'endiguement du Rhin.

Ainsi donc, par le nivellement comparatif opéré après une période de trente années, on peut déjà constater nettement que partout où les digues sont faites sur les deux rives à la largeur convenue de 120 mètres et surtout faites depuis un certain temps, le Rhin a acquis déjà une vitesse suffisante pour entraîner ses charriages et même pour approfondir son lit dans une certaine mesure en reprenant dans les anciens dépôts qui en forment le fond, tandis que partout où l'endiguement de la rive droite fait encore défaut ou est incomplet ou trop récent, la force de charriage s'affaiblit et les dépôts s'accroissent. Ce mouvement s'explique facilement et, dans chacune de mes tournées, j'ai pu en remarquer les traces évidentes; appréciation insuffisante et passagère, sans doute, mais concordante avec celles des fonctionnaires ou des habitants qui m'accompagnent ordinairement et qui sont confirmées maintenant par des vérifications exactes.

Une circonstance qui mérite d'être observée dans cette section du pont de Tardis à Trübbach et principalement jusqu'au pont de Ragatz, c'est la forme plus allongée qu'affectent les dépôts de gravier qui déterminent les sinuosités du courant en basses eaux. Ces dépôts de gravier, longs quelquefois de quelques centaines de mètres, s'appuient à l'une des rives, le courant se jette alors vers l'autre et vient ainsi frapper obliquement l'une ou l'autre des rives, puis se détourne et va frapper l'autre. Or depuis que ce mouvement des bancs de gravier est observé avec plus d'attention, il devient évident que ces bancs de gravier, assez saillants dans l'origine, s'allongent en se rétrécissant; les graviers qui les forment roulant plus loin, les inflexions du courant ou ses sinuosités sont plus allongées et moins brusques d'une rive à l'autre. Cela est certainement un indice de l'efficacité de l'endiguement depuis que les digues sont complétées sur de plus grandes longueurs. Cette marche annuelle des bancs de gravier mérite quelque attention et peut provoquer des observations utiles.

Il restera à continuer ces vérifications de manière à s'assurer

si ces effets du courant se continuent, s'accroissent ou se ralentissent¹.

Ces vérifications sont d'autant plus importantes que les variations du Rhin ne permettent pas de saisir facilement des résultats de ce genre à la simple vue. Elles acquièrent, d'ailleurs, une grande importance pratique en ce qu'elles permettent de se rendre compte à chaque endroit des causes qui exercent une influence en bien ou en mal sur le mouvement du fleuve et de ses charriages. Il importerait de savoir si cet approfondissement de 1^m00 à 1^m50 en moyenne constaté sur les 12 premiers kilomètres, sauf les points exceptionnels dont j'ai parlé, ne donne pas lieu à un adoucissement de pente plus bas et à des dépôts; ou, si l'usure des graviers, qui sont de plus en plus faciles à entraîner avec les limons, forme une compensation suffisante à la diminution de vitesse. Toutes ces considérations ont leur importance et, malgré tous les soins apportés aux travaux, on ne peut en bien constater l'efficacité qu'au moyen de vérifications attentives et avec le temps. Cette efficacité dépend beaucoup des variations du régime; les années se succèdent très différentes les unes des autres. Or ce n'est qu'après une série d'années qu'on peut apprécier des résultats de quelque valeur ou durables, sur lesquels on puisse baser des études de travaux destinés à aider au mouvement du fleuve dans le sens et dans les points utiles.

Cette justification de la largeur adoptée, tout au moins pour la partie supérieure, est très satisfaisante, mais il faut persévérer dans les recherches analogues pour posséder des bases sûres de discussion dans tout ce qui se rattache aux endiguements. Il faut observer d'ailleurs que si le resserrement du lit est un moyen d'accroître la vitesse et la force de charriage, il ne faut pas s'exposer par un resserrement exagéré à compromettre les digues elles-mêmes par des affouillements dans les hautes eaux. La limite à fixer pour obtenir un effet suffisant sans excès est difficile pour un fleuve aussi variable que le Rhin, qui peut débiter de 100 à 3000 mètres cubes par seconde. C'est certainement un problème délicat à résoudre et l'on ne peut y mettre trop d'attention.

Des ingénieurs consultés en 1876 par les autorités cantonales ont exprimé l'idée que la largeur du lit est trop considérable, ce qui entraîne le courant à serpenter entre les rives en les frappant obliquement au lieu de suivre la ligne directe. Cela provoque des affouillements et des dépenses nouvelles pour y remédier. Cela est vrai dans une certaine limite et en eaux basses ou moyennes, mais pendant tout l'été, de mai à septembre, le Rhin est assez haut pour remplir mieux son lit d'une rive à l'autre, suivre les digues et quelquefois les surmonter, et l'on pourrait croire alors que loin de rétrécir le lit, il faudrait le rélargir pour le mettre en harmonie avec le débit. Dès l'origine des travaux j'ai pensé moi-même que la largeur de 120 mètres entre les deux rives, vers le pont de Tardis, était trop grande et qu'on aurait mieux agi en la diminuant. Mais l'approfondissement constaté par le nivellement comparatif après trente années dont j'ai parlé, et après la régularisation des deux rives sur plus de douze kilomètres, me démontre que nos prédécesseurs ont adopté cette largeur avec sagacité. La vue de la crue

¹ Ce premier travail de M. Wey est actuellement complété et des notes de cet ingénieur paraîtront prochainement avec des profils exacts. Ces sortes de recherches sont excessivement précieuses.

de 1868, pendant laquelle j'ai suivi le sommet des digues sur ce long parcours, me confirme dans cette opinion.

Il est toujours bien difficile de fixer a priori la dimension à laquelle on doit s'arrêter, pour avoir un lit suffisant sans excès, quand il s'agit d'un fleuve à fond mobile et si variable dans ses crues.

Le rétrécissement du lit d'un cours d'eau pour accroître la vitesse a été mis à profit avec beaucoup d'à-propos par les ingénieurs de Berne qui ont été chargés de rectifier l'Aar dans la pittoresque vallée du Haslithal. La rivière débouche vers Meiringen, ce village récemment incendié, d'une gorge abrupte et coule en plaine sur 12750 mètres de longueur jusqu'au lac de Brienz. Les graviers sont abondants et volumineux, ils envahissent le lit et provoquent des irrégularités préjudiciables à toute la plaine.

Pour faciliter leur transport jusqu'au lac, on a donné une largeur de 30 mètres au lit, sous Meyringen, puis le nouveau canal rectifié a été rétréci de plus en plus jusqu'à 18 mètres vers son embouchure dans le lac de Brienz. Le courant de la rivière s'accroît peu à peu à mesure que la pente diminue, et la vue seule permet de voir que ce courant est d'une régularité remarquable par rapport aux berges; les graviers sont usés et entraînés jusqu'au lac, où ils forment déjà un petit delta.

Cet exemple est très intéressant à observer, ce qui est facile en suivant la berge de gauche; cela est d'autant plus aisé que la vallée est sur le grand chemin des touristes, qui se rendent aux glaciers du Rhône par l'Oberland bernois.

Quant au Rhin, il ne peut être question de chose semblable; non seulement la rive droite appartient à deux Etats indépendants, avec lesquels il faudrait traiter si possible, mais, même pour la Suisse et le canton de Saint-Gall en particulier, après les dépenses énormes déjà faites, on ne pourrait songer à proposer un changement de système, sur des aperçus théoriques ou par analogie avec ce qui peut avoir réussi pour des rivières très différentes de régime et de condition. Et d'ailleurs, après avoir consacré plus de douze millions à cette entreprise, n'est-il pas convenable et prudent d'attendre l'expérience d'un certain nombre d'années, après l'achèvement des digues, avant de vouloir imiter ce qui a été fait ailleurs dans d'autres circonstances? N'est-il pas inopportun et intempestif de proposer déjà un changement de système? C'est une satisfaction que nous devons laisser à nos petits-neveux.

Les moyens d'exécution qui sont indiqués pour cette transformation me paraissent d'ailleurs critiquables et peu pratiques, en sorte que lors même que les administrations supérieures seraient disposées à proposer au pays une nouvelle dépense de cette importance pour satisfaire à ces idées, il y aurait encore lieu d'en faire une étude très sérieuse avant de songer à l'exécution.

Que de nouvelles idées soient lancées dans le public par des journaux quelquefois peu compétents, ce n'est point un mal, dans un certain sens; cela provoque des discussions, des études mêmes et dans tous les cas cela n'entraîne aucune conséquence immédiate; mais il peut paraître imprudent de la part d'hommes spéciaux officiellement consultés de jeter dans les imaginations des idées générales, qui n'ont d'autre effet que d'affaiblir la marche de l'administration, et qui d'ailleurs, avant tout, devraient être étudiées attentivement au point de vue du cours d'eau spécial dont il s'agit. C'est ce qui me paraît

n'avoir pas été fait suffisamment. La réfutation de ces idées a été entreprise dernièrement par l'ingénieur de section, M. J. Wey, qui a publié un mémoire spécial, imprimé à Ragatz, en mai 1879. Les conclusions auxquelles il arrive méritent toute l'attention des autorités locales et du public intéressé¹.

TRAVAUX D'EXÉCUTION

Le système admis selon le programme de 1863 et la largeur étant fixée par les considérations que je viens d'exposer et par les conventions internationales antérieures, les sommes nécessaires à l'exécution ont été mises chaque année à la disposition des ingénieurs, sur devis annuel présenté par eux et approuvé par les conseils compétents.

Le projet primitif est basé sur la construction de deux lignes longitudinales formant lit mineur et lit majeur. Le lit mineur, réglé à la largeur prescrite de 120 mètres, est bordé par une ligne continue de digues en gravier pris sur place, et autant que cela se pouvait, dans le lit même du Rhin, mais dont le talus est fortement revêtu en excellents matériaux de carrières, qui forment un perré régulier; le pied du talus est d'ailleurs précédé d'un massif important de ces mêmes matériaux, implanté au-dessous du niveau des plus basses eaux et reposant sur un premier lit de fascinages destiné à en empêcher la trop prompte dislocation. Ce massif, désigné sous le nom de *vorgrund*, a généralement 3 mètres de largeur et 2 mètres de hauteur; les matériaux sont arrangés comme un muraillement à sec dont la surface forme en eaux basses comme un trottoir ou une risberme en avant du pied du talus. Ce talus, réglé à 3 de base pour 2 de hauteur, ou selon le cas à 45 degrés, est lui-même appuyé sur le *vorgrund*. Celui-ci forme donc un premier massif qui le protège contre les affouillements. Ce massif extérieur reçoit le premier effet du courant, qui souvent le dérange et le transforme en simple enrochement brut. Cela se voit aisément et l'on y pourvoit en ajoutant des nouveaux matériaux selon le besoin; avec ce soin on obtient que le talus revêtu en perré n'a pas à souffrir des affouillements. Pour plus de sûreté, on entretient sur la digue des approvisionnements de matériaux disposés de place en place, de manière que, dès qu'un dérangement du *vorgrund* est aperçu, on peut y pourvoir sans perte de temps et prévenir ainsi des brèches plus sérieuses; car, quoique les carrières d'où l'on tire les matériaux ne soient généralement pas fort éloignées, encore faut-il du temps pour préparer des pierres et des voitures en quantités suffisantes, surtout quand, comme c'est le cas le plus ordinaire, les hautes eaux et les affouillements coïncident avec la saison des travaux de la campagne, pendant laquelle on trouve plus difficilement les attelages et moyens d'action nécessaires.

La digue ainsi élevée devait être à la hauteur des hautes eaux ordinaires, de manière que dans les crues plus élevées, l'eau puisse se répandre au delà jusqu'à la seconde ligne de digues.

Cette seconde ligne forme l'arrière-bord; c'est une levée haute et forte située à 50 ou 60 mètres plus en arrière, large au sommet de 5 mètres au moins, soutenue par des talus gazonnés et plantés d'arbustes, quelquefois légèrement revêtus

¹ *Gutachten über die Umgestaltung des Rheinprofils*, etc., von J. Wey, Sections Ingenieur. Ragatz, brochure in-8, mai 1879.

en débris de carrières. La hauteur sur le sol varie de 6 à 8 mètres. Les eaux de crue alors envahissent l'espace entre les deux lignes, occupant ainsi tout le lit majeur, et déposent une partie de leur charriage limoneux dans l'intervalle. Ces dépôts sont favorisés par de nombreuses traverses en pierres posées sur fascinaes, qui ralentissent le courant, l'empêchent d'acquiescer une vitesse dangereuse pour les digues et contribuent à faire colmater activement ces espaces tout en consolidant l'ensemble.

Ce second rang de digues, appelé *l'arrière-bord*, est réglé à une hauteur insubmersible, soit supérieure d'environ 60 centimètres à celle des plus grandes eaux connues; son but est de protéger toute la plaine en arrière contre les ruptures accidentelles des premières digues qui sont exposées plus directement aux affouillements.

Ce système devait être suivi et les devis primitifs étaient basés sur son exécution, tout en comptant sur le maintien de bien des fragments antérieurement faits et qui étaient regardés comme bons; mais les deux inondations de 1868 et 1871 sont venues démontrer que le débit du Rhin pouvait s'élever bien plus haut qu'on ne le croyait précédemment et après nouvel examen, la commission d'ingénieurs chargée de ce soin en 1871, prenant en considération les nouveaux faits, reconnut la nécessité d'abandonner pour la première section ce système rigoureux, quoique plus rationnel, dès le pont de Tardis jusqu'aux rochers de Büchel, et de renoncer dans cette section à compter sur la seconde ligne, malgré les parties qui en subsistent, pour consacrer tous les efforts à relever le premier rang des digues. C'est ainsi que les digues principales ont acquis les dimensions que je donne dans la planche IV; leur hauteur est destinée à surpasser les hautes crues telles qu'on les connaît aujourd'hui.

Cette augmentation de hauteur et de largeur a exigé d'autant plus de dépense que le cube du massif s'est accru rapidement par l'extension inévitable du talus en arrière.

Ce type des endiguements n'a pas été suivi exactement sur tous les points; en divers endroits les dimensions en ont varié, soit par des causes locales, soit par suite des observations faites en cours d'exécution d'une année à l'autre.

Dans les premières années le talus était réglé à 45° d'inclinaison et s'appuyait sur le massif dit le Vorgrund; plus tard et dans les points où le sol se composait de moins gros gravier, le Vorgrund a été mieux séparé du pied du talus, comme dans la figure 2.

Le talus lui-même a été incliné à deux de hauteur pour trois de base. Ce qui lui donne plus de stabilité et l'expose moins aux éboulements partiels dans les cas où le Vorgrund serait trop activement dérangé par la force du courant.

Dans d'autres emplacements, le sol en arrière étant bas et profond, on ne pouvait songer à le niveler au loin par des remblais exagérés ou à faire des talus en arrière à l'abri des érosions qui peuvent se produire lorsque le Rhin, surmontant la digue, déverse et se répand en arrière; il se forme dans ce cas une véritable chute derrière la digue, dont l'action est dangereuse pour le remblai. Dans ces cas-là, le talus du côté des terres a été revêtu régulièrement par des fascinaes et la digue prend alors le profil de la figure 3.

Dans quelques cas aussi le sommet de la digue est lui-même protégé par un perré contre l'action du courant.

Le rapport que j'ai mentionné, du 23 août 1871, ayant admis

que les digues de la première section seraient relevées et destinées à surmonter les plus hautes eaux, cela a exigé un travail très coûteux qui n'était pas entré dans les premières prévisions; mais cela a dispensé de revêtir le sommet de perré, ainsi que le talus du côté des terres.

Pour toutes ces digues, qui règnent maintenant sur soixante-trois kilomètres, on a eu l'avantage de posséder en plusieurs points d'excellentes carrières de calcaire compact se détachant à la mine en blocs volumineux, en sorte que tous les matériaux, parmi lesquels les blocs d'un à deux mètres cubes ne sont pas rares, ont permis de former des enrochements et des revêtements en perrés d'un aspect rassurant. Les distances de transport jusqu'au fleuve ont varié sans dépasser huit à dix kilomètres; quelques carrières ont été ouvertes presque au bord du Rhin; il n'y a d'exception que pour les communes inférieures de Diepoldsau à Au, pour lesquelles on a dû se servir de grès, molasse tirée de Monstein, mais heureusement de qualité très dure. Quand il s'agit de pareils ouvrages, on ne peut faire venir les matériaux qu'on préférerait de trop grandes distances, on est bien obligé par économie de se servir de ce que peut fournir la contrée environnante.

En général, les prix ont varié de 5 à 10 fr. par mètre cube pour les matériaux de carrières; les remblais des digues en gravier pris sur place ou transportés par des wagonnets sont revenus de 80 cent. à 1 fr. 40 par mètre cube, à quoi il faut ajouter bien des frais de voies et ponts de service et d'autres outillages accessoires. Il est inutile d'insister sur des détails d'exécution bien connus de tous les ingénieurs.

Dans le canton des Grisons, sur la rive droite, on a restauré une certaine étendue de digues anciennes qui étaient déjà dans la direction convenue, puis on a construit une étendue de 5 $\frac{1}{4}$ kilomètres de digues entièrement nouvelles. Dans les deux communes que cela concerne, on s'est borné à former des talus du côté du fleuve par un simple enrochement en bons matériaux calcaires tirés de trois carrières voisines; c'est le système qui a été employé dans l'Isère par M. Mosca, de Turin. Cela simplifie le travail manuel, mais exige un emploi plus considérable de matériaux. Il est vrai qu'il est alors facile d'en ajouter à mesure que les crues parviennent à les déranger. En somme, ce genre de travail réussit et paraît se bien comporter. Le contrôle du travail se fait alors par les voitures qui amènent les matériaux et celui de la main-d'œuvre par le système des régies, tandis que les perrés réguliers du canton de Saint-Gall peuvent être remis à des entrepreneurs et contrôlés au point de vue de la bonne exécution et par des mesurages en ce qui concerne le volume exécuté. Les ingénieurs ont été libres de choisir le système le plus convenable à proposer dans chaque cas à l'autorité cantonale, des motifs administratifs ayant eu quelque influence dans divers points aussi bien que les motifs techniques.

Les arrière-bords qui forment la seconde ligne d'endiguement et limitent le lit majeur ont été maintenus dans la seconde section, dès les rochers de Büchel jusque vers la commune de Saint-Marguerethen; mais il a été jugé nécessaire, après les inondations et les ruptures de 1868 et 1871, de les relever et les renforcer en proportion, de manière à ce que partout cette seconde ligne domine les plus hautes eaux connues. Leur largeur au sommet a été fixée à 5 mètres, leur distance est de 50 à 60 ou 100 mètres de la première ligne.

Une circonstance à noter, c'est l'insuffisance de leur largeur du pied pour arrêter les filtrations par le sous-sol, en sorte qu'en plusieurs sections on a dû ajouter des banquettes de 6 à 8 mètres de largeur, d'un ou même des deux côtés, pour augmenter la résistance du sol sur une largeur suffisante. Ces soins, exigés par les graves expériences acquises, ont fait doubler le chiffre des dépenses prévues pour les arrière-bords. De plus, la nécessité de parer aux dangers des nouvelles crues a entraîné une augmentation importante de dépenses pour la restauration des anciennes digues que, dans le projet primitif, on avait crues suffisantes. C'est ainsi que toutes les dépenses ont subi le contre-coup des deux inondations qui sont survenues en cours d'exécution.

Aujourd'hui, on peut espérer être à l'abri de pareilles catastrophes, les travaux entrepris touchant à leur fin, non sans avoir coûté bien des efforts. L'importance de ces ouvrages si coûteux ne se voit nulle part mieux que vers le 49^{me} kilomètre, territoire de Diepoldsau. Là, si l'on circule sur l'arrière-bord, récemment rélargi, on est surpris de voir l'eau du Rhin visiblement plus haute que le sol de la grande plaine qui s'étend fort au loin sur la rive gauche et contient plusieurs grands villages. Il y a peu d'années que le Rhin venait encore frôler cet arrière-bord, qu'une fois on avait dû précipitamment protéger par quelques éperons en enrochements, construits à la hâte. Depuis lors, on a repoussé et déplacé le fleuve d'environ 200 mètres sur sa droite, et l'on a construit une ligne de digues très solides par une profondeur d'eau de 4 à 5 mètres. Ces digues sont reliées à l'ancienne rive qui, rélargie et exhaussée est devenue l'arrière-bord actuel, par des digues transversales en pierres reposant sur un lit de fascinages et obligeant l'eau à déposer une partie de ses charriages. Aujourd'hui, ces espaces de l'ancien lit sont comblés de sablon limoneux et déjà on s'occupe d'y faire quelques plantations. La transformation est complète et fait honneur à l'énergie de la population qui y a coopéré.

DÉPENSE

Il serait sans intérêt de mentionner ici en détail les dépenses faites; j'ai déjà dit que chaque année les ingénieurs ont présenté un devis des ouvrages à faire dans le courant de la campagne suivante. Ces devis étant examinés et approuvés, ils étaient autorisés à en poursuivre l'exécution et les sommes nécessaires inscrites au budget de l'année. Les comptes effectifs étaient soumis selon les besoins à l'autorité, qui en ordonnait les paiements; enfin ces comptes étaient transmis à l'autorité fédérale qui, après un nouvel examen, faisait payer la part proportionnelle du subside décrété.

Voici le tableau résumé des comptes de chaque campagne dans le canton de Saint-Gall. Le plus gros travail a toujours été fait dans la saison des basses eaux, entre l'automne et le printemps de l'année suivante. Chaque campagne comprend donc quelques mois de deux années successives. Cette marche n'est pas sans exception, mais elle était imposée par la nécessité de faire certains ouvrages pendant les plus basses eaux de l'année et aussi à une époque où les ouvriers de la contrée sont plus nombreux et plus libres.

Le chiffre réel de la dernière campagne ne sera fixé qu'un peu plus tard, après l'apurement des comptes; je n'indique que le devis proposé.

Canton de Saint-Gall. — Dépenses annuelles.

	Francs.	Cent.
1 ^{re} campagne, 1862-1863.....	240 680	11
2 ^e » 1863-1864.....	360 451	44
3 ^e » 1864-1865.....	401 466	52
4 ^e » 1865-1866.....	502 020	65
5 ^e » 1866-1867.....	416 821	49
6 ^e » 1867-1868.....	456 324	43
7 ^e » 1868-1869.....	673 848	80
8 ^e » 1869-1870.....	829 142	21
9 ^e » 1870-1871.....	487 654	15
10 ^e » 1871-1872.....	1 320 713	23
11 ^e » 1872-1873.....	1 631 774	37
12 ^e » 1873-1874.....	1 040 748	72
13 ^e » 1874-1875.....	796 628	29
14 ^e » 1875-1876.....	648 875	97
15 ^e » 1876-1877.....	491 177	25
16 ^e » 1877-1878.....	320 675	37
17 ^e » 1878-1879 devis	234 000	—

Ensemble, Fr. 10 933 003 —

Les dépenses approchent donc bien de la somme totale de onze millions, qui a été visée par les décrets de 1862 et 1878. Cela ne veut pas dire que les travaux soient absolument finis, mais simplement qu'ils sont arrivés au terme prévu pour leur exécution et pour la participation de la caisse fédérale; ce qui sera fait à l'avenir concernera le canton de Saint-Gall seul et sera censé affaire d'entretien, malgré que, peut-être, certains détails pourraient ne pas rentrer dans cette catégorie. Du reste, on peut regarder les travaux comme faits sur toute la rive; il ne reste que quelques points de détail à compléter, qui se lient plus ou moins nécessairement aux travaux d'assainissement et de colmatage de la plaine, travaux qui concernent le canton seul et les autorités locales. Ces divers détails n'ont aucune influence notable sur le compte ci-dessus.

On peut observer par ce compte que les dépenses ont été d'abord assez modérées, ce qui était causé par l'impossibilité matérielle de faire entreprendre les travaux partout à la fois, avec un outillage encore incomplet et des ouvriers peu expérimentés. Peu à peu on a pu développer les moyens d'action et imprimer une marche plus active sur tous les points. Mais la neuvième campagne a été marquée par la seconde inondation, qui a fait ralentir le travail et donné lieu à l'expertise du 23 août 1871. Ce moment d'hésitation une fois passé, on a reconnu la nécessité de pousser les travaux plus activement sur toute la ligne, et les dépenses annuelles se sont élevées au delà d'un million pendant les dixième, onzième et douzième campagnes. Les progrès de l'endiguement ont été rapides et l'on est parvenu à mettre solidement à l'abri les points les plus exposés en cas de nouvelle crue. La continuation ne pouvait être mise en question, mais le décret fédéral de 1862 avait limité la subvention fédérale à la somme fixe de 2 800 000 fr., en sorte que dès l'épuisement de ce crédit, le canton de Saint-Gall demeurait seul chargé de continuer et terminer les endiguements. Ce canton n'a pas hésité devant cette nécessité, et, tout en présentant une demande d'un subside complémentaire, il a pris ses mesures financières pour continuer les travaux. Toutefois, cette position gênante pour ses finances a fait modérer le travail de chaque année, en sorte que la dépense annuelle est de plus en plus modeste, comme le compte le fait voir.

Quant à la répartition de cette dépense entre les principaux chapitres prévus aux devis, elle est d'accord avec les prévisions.

Les digues nouvelles ont exigé jusqu'à ce jour une somme de	Fr. 8 032 440 73	
Les restaurations d'anciennes digues	» 1 012 777 17	
Les arrière-bords	» 886 825 96	
L'outillage a exigé	Fr. 188 062 63	
Les travaux prépara- toires, mesurages, arpen- tages, etc.	» 90 194 45	
L'administration	» 335 948 39	
Les diverses commis- sions	» 48 086 83	662 229 67
		Fr. 10 594 273 53

Cette proportion des dépenses ne s'éloigne presque pas de ce qui avait été établi par le premier devis de 1861; les différences principales proviennent du fait que l'on a introduit un nouveau chapitre pour les frais de colmatage, dont je parlerai plus loin, et qui en 1878 avaient atteint la somme de 99 823 fr. 27 cent., outre quelques frais de plantations.

Ce résumé fait voir que la dépense pour travaux est de 9 932 043 fr. 86 cent., à quoi il faut ajouter 6 % environ pour les frais généraux de diverses natures.

Ces chiffres seront quelque peu modifiés par les comptes de la dernière année 1878-1879 encore en cours d'exécution. Mais les grands traits n'en seront pas changés. Les frais généraux ont conservés leur proportion d'un peu plus du 6 % des dépenses des ouvrages proprement dits. C'est ce qui avait été prévu dans l'origine.

Ces détails de comptes, si importants pour les conseils et pour les administrations qui ont eu à s'occuper de ces travaux, n'ont cependant qu'un intérêt passager pour l'avenir. Il suffira de voir que, pendant cette période de dix-sept campagnes, avec le secours de la Confédération, le seul canton de Saint-Gall est parvenu à endiguer solidement toute la rive gauche du Rhin sur plus de 63 kilomètres de longueur, et cela malgré des catastrophes et des difficultés de tout genre qui auraient pu lasser et décourager une population moins énergique et moins intelligente.

DES COLMATAGES

Jusqu'à présent je n'ai parlé que des travaux de l'endiguement tels qu'ils avaient été compris et décrétés en 1862 et 1878. Mais il y a intérêt à faire connaître les ouvrages utiles qui sont la conséquence directe de ces travaux. Ils sont de trois sortes. Les colmatages, les ponts et les assainissements. L'amélioration d'un sol stérile par le moyen du colmatage n'est pas ignorée dans beaucoup de contrées, mais elle acquiert une importance très grande dans la vallée du Rhin qui, mieux que d'autres, s'y prête avantageusement.

Le système sans doute n'est pas nouveau en Suisse; il a déjà été appliqué avec succès dans le Domleschgertal par le colonel R. La Nicca, de Coire¹, ainsi que dans une partie de la vallée du Prättigau, dans le canton des Grisons; de plus, il est

utilisé fort en grand dans le nord de l'Italie et dans le midi de la France.

J'ai dit plus haut que les espaces reconquis sur l'ancien lit du Rhin étaient absolument stériles et couverts d'un gravier presque pur. D'assez grandes étendues sont en outre exposées aux irrptions et abandonnées à la maigre végétation qui s'y produit spontanément peu à peu, tant qu'une nouvelle irrption du Rhin n'y vient pas mettre obstacle. Tous ces terrains sont bas relativement au fleuve, et il y a un grand avantage à les relever en les comblant par les dépôts de l'eau qui est éminemment propre à cela. La plaine entière est exposée aux eaux, qui y séjournent et la rendent marécageuse, soit qu'elles proviennent des eaux naturelles et pluviales qui n'ont pas un écoulement suffisant, soit qu'elles proviennent des infiltrations qui se produisent par le sous-sol. Le relèvement successif de tous ces terrains par le dépôt des limons du Rhin est une opération doublement profitable, puisque tout en consolidant les abords des digues contre les infiltrations, elle procure un sol profond de limon sablonneux susceptible d'être utilisé par des cultures.

L'eau du Rhin est rarement claire, c'est à peine si elle devient un peu limpide pendant le moment des plus basses eaux. Or elle charrie des matériaux et du limon provenant de tous ses affluents et dont quelques-uns sont d'une excellente qualité pour être transformés en terre cultivable. Cela tient beaucoup à l'élément argileux des charriages provenant du canton des Grisons, dont les roches schisteuses sont connues sous le nom de *Bündt-nerschiefer*. Le plus remarquable des affluents est la Nolla, torrent qui descend des flancs du Piz Beverin et vient se jeter dans le Rhin près de Thusis, au débouché de la Via-Mala, un peu plus haut que le confluent de l'Albula. Ce torrent traverse un sol sans consistance et rempli d'eaux souterraines. C'est un schiste argileux noir qui s'émiette et se détruit avec une grande facilité, en sorte que le ravin est devenu aujourd'hui un gouffre énorme, que les chalets et les villages situés sur les flancs sont sans cesse menacés d'une destruction qui semble inévitable. Bien des lots de terrain et plusieurs maisons ont déjà disparu. Les moyens employés pour arrêter ce mouvement, malgré des dépenses considérables, sont loin de suffire¹.

Ces schistes, broyés par les eaux du Rhin avec les autres matériaux qu'elles charrient, leur communiquent une couleur noire ou d'un gris foncé qui se remarque dans tout son cours jusqu'au lac de Constance. Mais ce limon si abondant n'est point nuisible pour la végétation et, à ce sujet, le propriétaire du beau château de Reichenau, chimiste distingué, s'est livré à des expériences fort utiles. Non seulement il possède des plantations d'arbres fruitiers dans les dépôts de la Nolla qui témoignent admirablement en faveur de la qualité de ces dépôts, mais il a publié sur ce sujet une brochure spéciale pour faire connaître le parti qu'on en peut tirer au point de vue agricole².

Rien n'est donc plus propre à relever les terrains voisins du Rhin par les dépôts de ces limons.

C'est l'opération qui a été entreprise depuis quelques années par le canton de Saint-Gall et déjà les résultats se montrent

¹ Bericht zum Projekte der Nollaverbauung, u. s. w. von Oberingenieur Adolphe von Salis. Chur, November 1870.

² Die Nollaschiefer in ihrer landwirthschaftlichen Bedeutung, von Dr. von Planta-Reichenau. Aarau, 1872, bei Christen.

¹ Die Unternehmung der Rheinkorrektion im Domleschgerthal, Kantons Graubünden, durch R. La Nicca. In-4°, Zürich, bei Schulthess 1839.

très encourageants. Des plantations d'arbres, d'essences convenables, sont faites aux endroits les plus avancés et dans quelques années ces terrains sans valeur, améliorés par l'effet même des plantations, acquerront une valeur et pourront être utilisés par des cultures plus avantageuses.

Plusieurs fortes écluses ont été établies, qui offrent un caractère de solidité rassurant pour leur durée; ces écluses forment un passage voûté en maçonnerie hydraulique qui traverse toute l'épaisseur de la digue; ce passage est armé de fortes vannes en fer à l'entrée et à la sortie, au moyen desquelles on peut à volonté laisser introduire l'eau du Rhin derrière la digue, la régler et l'arrêter, selon les convenances du moment. Un mécanisme à engrenage permet au gardien seul de manœuvrer les vannes; une maisonnette en planches abrite le tout et au besoin le gardien peut y passer la nuit, ce qui est utile dans la saison des hautes eaux et dans les cas où l'on peut craindre quelque surprise pour les digues.

L'eau ainsi introduite derrière les digues y perd son mouvement et dépose son limon, puis elle va sortir à une certaine distance plus loin pour retourner au Rhin au moyen d'une nouvelle écluse de sortie, aussi réglée par des vannes; cette distance est quelquefois de plusieurs kilomètres. L'eau sort non pas absolument claire, mais débarrassée de la majeure partie de son limon.

Il est inutile d'ajouter qu'on facilite et dirige ce dépôt par des petites digues transversales qui modèrent le courant derrière la digue et procurent à l'eau un certain calme dans chacun des bassins successifs.

Au moyen de ces dispositions, dès que le Rhin s'élève assez pour être bien chargé de limon et à bonne hauteur par rapport aux écluses, on fait fonctionner celles-ci et ainsi on obtient chaque année des dépôts considérables.

Les gardiens des écluses sont munis d'instructions régulières et de carnets imprimés dans lesquels ils doivent inscrire chaque jour les détails de l'opération, ainsi que les hauteurs du Rhin et la quantité relative de limon qu'il transporte.

L'écluse située vers Ragatz, la première établie, a déjà permis de constater que dans l'été de 1874, on avait introduit un volume de près de 80 000 mètres cubes de sable limoneux sur un espace d'environ 90 hectares, situé derrière les digues nouvelles entre les 5^e et 10^e kilomètres.

La vérification de la quantité de limon charriée par l'eau a fait constater qu'en moyenne l'eau du Rhin contenait de 0,001 à 0,042, et que la moyenne avait été de 0,016 par mètre cube d'eau introduite; cette proportion constatée en 1874 est variable, toutefois, les vérifications journalières faites à chaque écluse font voir que les variations ne sont pas importantes. Ces vérifications se font tous les jours par un système très simple; c'est un tube en verre gradué muni d'un entonnoir aussi en verre, dans lequel on verse chaque matin un litre d'eau puisée à même du fleuve devant l'écluse, et au bout de vingt-quatre heures, la décantation étant faite, on lit la graduation qui indique en millilitres le volume déposé au bas du tube, ce que chaque gardien inscrit sur son carnet. Les dimensions de l'écluse permettent de calculer de même le volume d'eau qui y passe et ainsi d'en déduire le volume de limon introduit. Il serait puéril de vouloir opérer des vérifications plus minutieuses comme cela se ferait dans un laboratoire, mais ce système très simple

fournit une vérification pratique rapide et plus que suffisante pour le but à atteindre¹.

La proportion de sable limoneux du Rhin est analogue à ce qu'on connaît des matières terreuses propres au colmatage charriées par divers fleuves réputés pour le succès de ces sortes d'améliorations: le Var, la Durance sont dans ce cas; le Nil, la Garonne sont moins riches en limon et cependant l'immense delta du Nil s'élève de 6 centimètres par siècle, selon les indications de divers ingénieurs.

Quoi qu'il en soit, le canton de Saint-Gall est résolument entré dans la voie fructueuse de faire recouvrir tous les terrains stériles gagnés sur les bords du Rhin, par une couche de limon de colmatage et d'y introduire des plantations d'arbres propres à favoriser la formation de l'humus, puis, plus tard, d'introduire des cultures plus avantageuses. Quelques pépinières sont établies pour y préparer des bonnes essences forestières.

Cependant à mes yeux les autorités locales devraient tendre à introduire les bienfaits du colmatage sur tous les terrains bas et marécageux, qui ne sont que trop nombreux dans la plaine du Rheinthal. L'opération que je viens de décrire pour le colmatage le long du Rhin fonctionne très bien et sera probablement terminée dans peu d'années, mais rien n'empêchera de continuer à se servir des écluses construites pour faire conduire l'eau limoneuse du Rhin d'une manière régulière et permanente dans tous les terrains bas et marécageux de la plaine. Cela les relèverait peu à peu, et ce relèvement, quoique lent, serait le meilleur moyen de les mettre à l'abri des filtrations qui se font par le sous-sol. Ces terres seraient progressivement transformées en terres plus saines, plus fructueuses et cultivables.

Ce moyen naturel est tout à fait à portée des habitants, puisque les écluses existent. L'étude des canaux à créer pour conduire l'eau dans les terrains à irriguer est une opération facile, et l'introduction de l'eau peut être réglée à volonté selon les saisons et les convenances, en sorte que les récoltes n'en seraient point empêchées. Après s'être dépouillée de son limon, l'eau retournerait au Rhin par les canaux d'assainissement dont je parlerai plus loin.

Ce progrès, pour être lent, serait cependant certain et au bout d'un nombre d'années plus ou moins long, la plaine entière pourrait être cultivée à l'égal des parties qui avoisinent les villages. Les canaux de colmatage serviraient dans la saison chaude de simples canaux d'irrigation.

J'insiste sur ces opérations que je crois très importantes pour l'avenir de la contrée. Je pourrais citer bien des exemples analogues en divers pays; mais je tiens surtout à provoquer l'attention des habitants du Rheinthal sur un moyen de relever la prospérité agricole de leur contrée et de profiter des sacrifices qui ont été faits pour l'endigement du fleuve. Cette première condition est remplie, il faut en tirer tout le parti possible pour vivifier le pays; la dépense ne peut pas arrêter sérieusement. Si les canaux principaux à créer concernent les autorités et administrations locales, une rétribution annuelle des propriétaires utilisant l'eau couvrirait cette avance. Ces détails administratifs sont encore à étudier et d'ailleurs la mise en pratique de l'idée que je propose ici ne peut pas être brus-

¹ Voy. le Bulletin de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes, 1^{re} année, 1875, pag. 6.

quée et elle exigera un certain nombre d'années; il me suffit de l'indiquer ici au sujet de la vallée du Rheintal, en observant que cela se fait dans une foule de localités de l'Europe et même de l'Asie¹.

PONTS

Parmi les conséquences directes de la correction du fleuve, on peut citer les ponts. En effet, en 1861, alors qu'on discutait le premier projet d'endiguement qui ne fut décrété que l'année suivante, il n'existait que deux ponts sur le Rhin, l'un à la limite cantonale, c'est l'ancien pont de Tardis, en charpente, formant l'unique communication pour la route postale et commerciale entre la région du lac de Constance et les passages des Alpes du Splügen et du Saint-Bernardin; l'autre tout récent, en charpente aussi, construit à Ragatz pour le chemin de fer. Celui-ci n'offrant d'ailleurs qu'une simple passerelle à pied aux populations du voisinage.

Les communications, comme je l'ai dit plus haut, se faisaient partout ailleurs par des bacs, toujours incommodes, quelquefois dangereux. Ce n'est qu'à Constance et à Stein, à plus de cent kilomètres de là qu'on trouvait des ponts sur le Rhin.

L'endiguement en donnant un peu de fixité aux rives et de sécurité aux habitants a très rapidement fait substituer des ponts réguliers aux anciens bacs et cela par l'initiative spontanée et aux frais des populations riveraines. Il existe aujourd'hui dans la partie endiguée quatorze nouveaux ponts au travers du Rhin, dont deux sont en fer, destinés aux chemins de fer autrichiens qui se soudent à ceux de la Suisse à Buchs et à Saint-Margrethen². Tous les autres sont des ponts en charpente établis par les communes riveraines directement intéressées. Ces ponts sont tous praticables aux voitures et couverts. On parle d'en construire encore d'autres.

Ce grand nombre de ponts, simples et peu coûteux, il est vrai, indique combien la population en éprouvait le besoin pour ses relations journalières entre les deux rives. C'est d'ailleurs un indice certain de la confiance des habitants dans les résultats de l'endiguement en ce qui concerne la sécurité de la contrée contre les irruptions du Rhin. Ces ponts ont naturellement exigé le rétablissement de diverses chaussées et routes locales, qui ont amélioré tous les moyens de circulation à l'intérieur, en sorte que par une conséquence directe et presque immédiate de l'endiguement rationnel du Rhin, la contrée tout entière est entrée dans une voie d'amélioration matérielle et de progrès, qui se développera de plus en plus. C'est un résultat indubitable.

Il suffit d'ailleurs de parcourir la contrée pour voir partout des traces de ce mouvement qui transforme déjà bien des loca-

¹ Dans ma pensée, les canaux principaux destinés à conduire l'eau dans la plaine d'une manière utile ne peuvent être faits que par les soins de l'autorité locale. Le parcellement des terres est tel qu'aucun plan d'ensemble ne pourrait aboutir si chaque propriétaire pouvait agir seul et selon ses convenances personnelles. Un réseau principal devrait faire l'objet de mesures administratives et au besoin avec faculté d'expropriation pour cause d'utilité publique.

La répartition des dépenses serait l'objet d'une combinaison spéciale, basée sur la redevance à exiger de chaque propriétaires utilisant l'eau.

² Voy. la carte, planche n° 1.

lités. Constructions de maisons, cultures diverses, tout porte la preuve d'une certaine confiance dans un avenir plus stable.

Ces améliorations diverses sont une preuve d'autant plus certaine des avantages qui résultent des travaux du Rhin que toutes sont le résultat spontané de l'activité intelligente des populations. La Confédération n'y prend aucune part, elle se borne à viser les projets, afin qu'ils ne contrarient pas les dispositions qui concernent l'écoulement du Rhin, non plus que les intérêts militaires de la Suisse, et quant à l'administration cantonale elle se borne à la surveillance administrative qu'elle doit exercer en tout temps sur les administrations locales. Elle peut aider cependant par quelques subsides les entreprises ayant une certaine utilité générale.

Ces remarques m'autorisent bien à dire comme je l'ai fait en commençant que les grands travaux auxquels la Confédération accorde son appui, tels que ceux du Rhin, du Rhône, des eaux du Jura et d'autres sont comme des conquêtes pacifiques du sol qui ne coûtent ni sang ni larmes et contribuent à la force et à la richesse de la nation.

ASSAINISSEMENT

Pour donner aux travaux de la correction toute leur efficacité, il faut corriger les divers ruisseaux qui amènent au Rhin les eaux naturelles de la plaine.

Jusqu'à présent, les petits ruisseaux ou canaux sillonnant la plaine venaient déboucher comme ils pouvaient et souvent leurs eaux, refoulées par les crues du Rhin, inondaient les terres plus en amont; il est donc indispensable de rectifier et améliorer tout ces petits affluents et d'en diminuer le nombre. Conduire les eaux de la plaine aussi bas que possible dans le Rhin, de manière à bien profiter de toute la différence de pente disponible et profiter aussi autant que cela se peut, de tout ce qu'on pourra obtenir pour l'approfondissement du lit du fleuve.

Toute cette partie du programme général est laissée aux soins des intéressés et des administrations locales. Plusieurs canaux d'assainissement ont été creusés et rendent des services faciles à constater à Au, à Montlingen, à Salez, etc.; mais il reste encore beaucoup à faire pour compléter ce système d'assainissement. Divers projets sont à l'étude, je me bornerai à quelques mots sur le plus important du moment actuel, dont une étude complète a été faite par M. Wey, l'ingénieur de la première section, je veux parler du canal du district de Werdenberg¹.

Ce projet embrasse une étendue de près de 19 kilomètres et acquiert vers son embouchure une largeur de 23^m50, devant écouler au besoin de 1 jusqu'à 94 mètres cubes d'eau par seconde selon le maximum prévu. Le devis qui accompagne les plans s'élève à 423 000 ou 430 000 francs selon la variante qui serait préférée.

Cette somme est certainement importante et fait réfléchir à juste titre les autorités qui ont à participer à cette entreprise. La contribution de la caisse de l'Etat de Saint-Gall ne fera pas défaut, quoique, peut-être, l'autorité cantonale, sollicitée de divers côtés, ne puisse pas faire autant que les conseils le désireraient.

¹ Bericht über die Korrektion der Binnengewässer im Bezirk Werdenberg. Ragatz, 1878, bei W. Lehmann.

Ce que j'ai dit au commencement sur les difficultés que la hauteur du lit du Rhin oppose au bon écoulement des eaux naturelles de la plaine, ainsi que sur l'effet de la pression hydrostatique des hautes eaux par les filtrations du sous-sol qui font augmenter le volume des eaux intérieures, suffit pour faire comprendre l'importance d'un bon réseau de canaux d'assainissement qui soit conçu et exécuté d'une manière rationnelle et puisse procurer un bon écoulement de toutes les eaux nuisibles vers l'aval du Rhin. Cela permettra plus tard de fermer les embouchures vicieuses qui subsistent encore et ouvrent autant de points faibles à l'endiguement et permettent trop souvent aux eaux du Rhin de remonter dans la plaine par l'effet du remous.

Cet intérêt est si réel, si grand, si palpable, que je ne doute pas du bon esprit avec lequel les populations intéressées poursuivront le but et acceptent les sacrifices qui sont inévitables pour l'atteindre. Elles ont déjà donné trop de preuves de leur esprit éclairé, en même temps que de leur énergie, pour ne pas être certain qu'elles parviendront à un arrangement financier et administratif qui permettra de mettre la main à l'œuvre. Malgré qu'une première tentative d'arrangement ait échoué par le refus de quelques communes de se charger de cette dépense, à leurs yeux trop considérable, il est à supposer que de nouvelles négociations seront plus heureuses. La protestation publique de l'auteur du projet, publiée en mai 1879, contribuera peut-être à faire réfléchir les administrations locales.

Si, comme je me plais à l'entrevoir pour l'avenir, un système de colmatage et d'assainissement venait à être généralement adopté dans le Rheintal; qu'un jour ou l'autre quelques irrigations fertilisantes vinssent compléter ces améliorations, la vallée serait transformée au profit des générations suivantes, qui possèderaient enfin avec plus de sécurité une plaine fertile, riche de ses cultures aussi bien que de l'industrie de ses habitants.

Tous les progrès se lient les uns aux autres et les travaux d'endiguement du Rhin, si heureusement soutenus par la Confédération, pourront à bon droit être considérés comme l'origine et la première cause d'une prospérité durable qu'on ne peut s'empêcher de désirer pour cette vaste et belle plaine.

COUPURE DE FUSSACH

En décrivant le cours du Rhin et indiquant les limites de la correction entreprise, j'ai fait remarquer que sur les 75 kilomètres qu'il parcourt du pont de Tardis jusqu'au lac de Constance, le projet de correction en laissait douze en dehors de son programme. Entre Au, ou plus exactement le pont de Monstein et le lac, le Rhin forme une sinuosité marquée; le fleuve se détourne brusquement à gauche, puis remonte au sud et reprend sa course au nord par Rheineck et Altenrhein jusqu'au lac. Il parcourt ainsi douze kilomètres, tandis que de Brugg il n'est séparé du lac que par une plaine unie, de quatre et demi kilomètres environ et en partie marécageuse.

Mais ce territoire appartient à la rive droite et fait ainsi partie de l'empire d'Autriche. Toute correction rationnelle au travers de cette plaine ne peut être faite que d'accord avec le gouvernement impérial et même par ses agents.

Déjà de nombreuses conférences ont eu lieu à ce sujet entre

les délégués de l'Autriche et ceux de la Suisse; mais aucune solution n'est encore intervenue.

Dans ma première notice, j'ai essayé de donner un aperçu de la question telle qu'elle se présente et des projets qui ont été élaborés et proposés; je crois superflu de reprendre ce détail et de chercher à convaincre les lecteurs de la nécessité de faire la coupure principale de Brugg à Fussach selon l'avant-projet préparé par la conférence des ingénieurs des deux nations, tenue à Bregenz, dont le rapport est du 8 juillet 1865.

Les ingénieurs des deux pays, aussi bien ceux de 1865 que ceux qui leur ont succédé dans d'autres conférences subséquentes, sont bien convaincus que la coupure proposée, en abrégeant de deux tiers la distance de Brugg au lac de Constance, aurait un effet certain et considérable sur l'accélération du cours du Rhin. Le niveau du lac demeurant tel qu'il est ou du moins ne dépendant pas de cette partie du Rhin, il est facile de comprendre que l'augmentation de la pente relative déterminera inévitablement une accélération de vitesse qui se propagera en remontant jusque dans la vallée près de Moutlingen ou Oberried; cet accroissement de vitesse entraînera les limons et anciens dépôts du lit, d'autant plus sûrement que dans toute cette région ils ne se composent que de sable limoneux assez léger et mélangé d'une très faible quantité de menu gravier. On a calculé, d'après les conditions du projet de coupure, qu'on abaisserait le niveau du Rhin, à Brugg, de 1^m80 et peut-être de 2^m70.

Toute la contrée, sur les deux rives, en serait améliorée, toutes les eaux latérales obtiendraient un meilleur écoulement et par suite provoqueraient un assainissement important de la plaine.

Toutefois, les autorités autrichiennes n'ont pas encore pu prendre une décision sur cet objet par divers motifs d'administration locale, et cependant de vastes territoires de la rive droite y ont un intérêt évident.

Comme contre-projet, on a proposé de rectifier de même une assez longue section du Rhin au travers du territoire suisse, il s'agit d'une coupure analogue à la précédente et qui figure aussi sur le plan général annexé, pl. 1. Cette coupure, longue de cinq kilomètres, passerait derrière les villages de Diepoldsau et Schmitten, et ferait cesser la forte sinuosité du fleuve, connue sous le nom de baie de Hohenems. La discussion s'est portée aussi sur cette proposition, les deux coupures ont été étudiées en détail. La Suisse s'est montrée prête à faire sa part dans cette amélioration, malgré son coût élevé. Mais les négociations n'ont pas abouti, et sans être rompues, elles subissent un temps d'arrêt regrettable. Dans cette situation, la Suisse doit attendre que le gouvernement impérial et royal, mieux éclairé sur cette question ou plus libre d'agir ensuite des difficultés financières ou politiques qui ont caractérisé ces dernières années si fécondes en événements considérables, veuille écouter des propositions et entrer en négociations utiles sur cette importante question; mais cette attente peut, par sa durée, laisser trop longtemps les terrains des deux rives sans protection suffisante contre quelque nouvelle grande crue qui, semblable à celles de 1868 ou 1871, ferait une nouvelle irruption dans la plaine. La Suisse doit donc endiguer solidement sa rive depuis Oberried à Monstein et plus bas. C'est ce qu'elle fait avec beaucoup de raison, puisque nul ne sait quand il sera possible de faire un compromis acceptable pour les deux pays.

Les négociations n'étant point rompues, mais seulement ralenties, je m'abstiens de toute nouvelle observation sur ces projets de coupure, m'en référant d'ailleurs aux quelques explications de fait données dans ma première notice.

ADDITION

Le mémoire qui précède était déjà écrit et livré à l'impression, lorsque j'ai pu prendre connaissance d'un mémoire analogue sur le même sujet, lu à la Société des ingénieurs et architectes à Zurich, dans sa séance de mars 1879, par l'ingénieur de section, M. J. Wey¹, dont la résidence est à Ragatz.

Dans ce travail intéressant, M. Wey fait surtout un historique de la formation successive de la vallée et du cours du Rhin, historique bien conjectural puisqu'on ne possède quelques documents un peu certains que depuis un siècle seulement et que pour toute la période antérieure depuis l'époque romaine, on ne possède que les traces matérielles qui peuvent faire conjecturer la manière dont les choses se seront passées pour arriver aux conditions actuelles de la vallée.

Les indications que donne M. Wey, sont très judicieuses et témoignent d'une observation attentive. Son travail vient ainsi compléter et confirmer ce que j'ai dit plus haut d'une manière toute sommaire; mais ce résumé historique n'ayant pas d'intérêt pour le but que je me suis proposé, je n'ai pas entrepris d'en parler et d'ailleurs M. Wey habitant régulièrement dans la contrée, était de toutes manières mieux placé pour recueillir peu à peu les renseignements nécessaires. C'est lui qui dit dans son mémoire que le plan le plus ancien qu'on possède date de 1770; ceux que j'ai eu l'occasion de voir sont moins anciens.

Je suis d'accord d'ailleurs avec M. Wey sur la plupart des autres parties de son travail et de son appréciation sur diverses circonstances techniques de l'endiguement. Il y a cependant quelques points de détail au sujet desquels il me paraît n'avoir pas lu bien attentivement divers rapports antérieurs. (25 septembre 1869, 9 juillet et 23 août 1871.) Mais son but, il est vrai, n'était pas de discuter des principes, mais d'exposer seulement la nature de l'entreprise, ce qu'il a fait très clairement. Il s'arrête cependant plus que je ne l'ai fait sur les canaux d'assainissement et plus spécialement sur le projet considérable qu'il a proposé pour le district de Werdenberg. Le refus de plusieurs communes de participer à la dépense d'exécution l'a visiblement contrarié, ce qui l'a entraîné à en parler plus en détail. Je partage son regret au sujet d'un projet qui peut être d'une grande utilité pour la contrée et j'espère dans l'intérêt de la vallée que ses efforts seront prochainement couronnés de succès. Toutefois, ces détails ne rentraient point dans le cadre du travail que j'ai entrepris, en sorte que je n'en ai parlé que très rapidement.

Il en est de même de la correction des torrents si nombreux qui se jettent dans le Rhin et du reboisement des montagnes, si gravement et si imprudemment déboisées par les générations qui nous ont précédé.

Ce sujet sortait de mon cadre et cependant nul plus que moi n'apprécie les efforts qui se font dans divers pays pour améliorer, réparer, reboiser et diminuer ainsi le mal. Mais il faut le re-

connaître, ces travaux ne peuvent se faire que peu à peu et surtout, quelque soit leur succès, ils ne peuvent être efficaces que partiellement et tardivement.

Retenir les charriages dans les lits des torrents au moyen de barrages est une mesure indispensable pour obtenir une diminution sérieuse des matériaux qui sont amenés dans le Rhin à chaque pluie d'orage; mais tout en le recommandant d'une manière générale, je dois reconnaître que les hommes ne peuvent le faire que dans une limite insuffisante. Le Rhin seul reçoit plus de cent torrents alpins avant d'arriver dans la région nouvellement endiguée; ces torrents proviennent tous d'une des régions les plus montagneuses des Alpes suisses et d'une partie qui, géologiquement, renferme beaucoup d'éléments faciles à désagréger et à entraîner. Or, malgré le zèle infatigable de nos forestiers et l'appui financier des administrations, on ne peut progresser dans ce genre d'amélioration qu'avec lenteur; c'est par dizaines d'années qu'il faut compter et par milliers d'hectares le sol à reboiser. Or, les habitants du Rheinthal, si souvent ravagé par les débordements du Rhin, ne peuvent attendre le succès du reboisement et des barrages et demeurer exposés à de nouvelles catastrophes, moins à craindre maintenant, mais jamais impossibles. Telle est l'origine des travaux; je m'empresse d'ailleurs de le reconnaître, la Suisse présente déjà bien des exemples encourageants de ce genre de travaux. Des barrages considérables sont exécutés dans la plupart des cantons montagneux, plusieurs sont très importants et ont déjà quelque peu amélioré l'ancien état de choses, mais ces exemples sont encore bien clair-semés dans les Alpes suisses, relativement à l'étendue du sol et tous ne sont pas encore bien visiblement efficaces dans leur effet; il leur faut du temps.

Il en est de même du reboisement, une grande quantité de parois dénudées sont, paraît-il, condamnées à une bien longue stérilité. Cependant, on a planté beaucoup, on a eu recours à des semis aidés de terrasses provisoires en clayonnages, destinées à soutenir les débris terreux, jusqu'à ce qu'un peu de végétation les ait recouvertes et consolidées. Mais ce travail, excellent en lui-même, est bien loin de suffire malgré le zèle et le dévouement des forestiers qui s'en occupent.

Les Alpes françaises font l'objet d'efforts analogues principalement dans le torrent du Bourget (Basses Alpes), de la part de l'administration des eaux et forêts qui a déjà fait de magnifiques travaux de barrages¹. Mais, encore là, malgré les ressources d'un grand pays, le résultat est encore faible comparativement à l'étendue des terres à reboiser et au temps nécessaire au succès.

Je n'ai pu que dire un mot sur ce sujet, je ne me suis pas proposé de traiter ces questions, j'ai dit seulement que ces moyens accessoires pour diminuer peu à peu une partie des charriages de nos torrents, ne peuvent produire leur résultat, même en cas de succès complet, qu'avec lenteur. Mais les habitants des bords du Rhin ne peuvent se fier à ce moyen et en attendre les effets. Pour eux, les désastres sont récents et chaque année ils peuvent se reproduire; il fallait donc y parer pour la génération actuelle, tandis que les reboisements et les corrections de torrents produiront leur effet pour les généra-

¹ Le Conseil fédéral à Berne possède, dit-on, une très belle collection de vues photographiques de ces travaux qui font le plus grand honneur au corps des eaux et forêts.

¹ *Die St. gallische Rhein-Korrektion*, Historisch-technischer Abriss. Separatabdruck aus N° 24. Eisenbahn, mai 1879.

tions suivantes et ainsi peu à peu la correction du Rhin telle qu'elle a été faite sera plus assurée d'un résultat durable.

Le même journal spécial (n° 24 de l'*Eisenbahn*, qui se publie à Zurich), contient en outre un article de M. Oppikofer, autrefois ingénieur-adjoint pour la correction du Rhin, à Saint-Gall. Je n'ai pas à entrer en discussion au sujet des observations de cet ingénieur sur la priorité ou le mérite de ses idées sur les détails de l'endiguement. Je me borne à signaler cet article aux lecteurs que cette polémique peut intéresser. Une discussion technique entraînerait trop loin pour le but de cette notice. Toutefois, je me plais à signaler que M. Oppikofer a soutenu le principe des digues insubmersibles et à simple ligne et qu'il a donné d'excellentes raisons pour cela. Cependant, il abandonne trop aisément la précaution d'une seconde ligne de digues élevées, capables de préserver la contrée dans le cas d'une de ces crues extraordinaires qui se produisent rarement, mais cependant plusieurs fois dans un siècle.

Les digues principales, fondées sur un lit de fascinage, protégées par un massif de solides matériaux à leur pied, revêtues en perrés, d'un profil très résistant, leur masse généralement faite d'un gros gravier, ces digues principales, dis-je, peuvent résister à une pression considérable et résistent en effet sur toute la ligne; mais le danger ne vient pas tant de la forte pression qu'elles subissent quelquefois quand les eaux sont bien hautes et leur courant actif, il vient surtout des affouillements qui se font au pied, sous les fondations; parfois ces affouillements se font au-dessous du niveau des eaux ordinaires et même des basses eaux, ils commencent par détacher le sable, le menu gravier, puis, peu à peu, les matériaux plus lourds perdant leur équilibre glissent ou roulent, ouvrant un point faible dans lequel l'eau se précipite, aggravant le mal de minute en minute, en sorte que des digues très solidement établies sont parfois entamées en peu d'heures, les brèches s'agrandissent rapidement et c'est ainsi qu'une dégradation d'abord insignifiante peut devenir en quelques instants une brèche redoutable.

Le second rang de digues, disposé comme le sont les arrières-bords, est dans ce cas une sécurité; les habitants, avertis du danger par les appels ou les signaux des gardes, peuvent rapidement travailler à prévenir l'agrandissement de la brèche et souvent la rendre inoffensive ou sans importance. Dans tous les cas, les digues d'arrière-bord recevant un courant déjà bien amorti peuvent résister jusqu'à la fin de la crue et ainsi protéger le sol en arrière.

C'est ainsi que je comprends le fonctionnement de ces deux rangs de digues.

Quant à se borner à un seul rang de digues insubmersibles il est bon et naturel en lui-même, mais à la condition de n'être jamais affouillé ni dégradé, et le Rhin, par la nature de son sous-sol, ne peut jamais être qualifié d'inattaquable et à la condition aussi qu'il puisse être déclaré absolument insubmersible, ce qui de l'aveu de tous serait un peu téméraire. Nul ne peut dire que les plus grandes crues connues ne seront jamais dépassées dans l'avenir, il n'y a pas d'ailleurs, selon moi, à s'inquiéter de la possibilité de voir les terrains entre les deux lignes de digues relevés au point de ne plus remplir utilement le rôle qu'on leur demande, comme de voir un jour le niveau du lit et celui de l'eau tellement élevés, qu'il faille recourir à une surélévation de tout l'endiguement. Cette crainte expri-

mée par divers auteurs est un peu chimérique, car elle suppose un relèvement très notable, tandis que nous voyons au contraire que les endiguements ont pour but de favoriser l'entraînement des charriages et même l'approfondissement du lit par l'action du courant lui-même, or j'ai indiqué plus haut que dans certaines sections cet effet est obtenu dans une mesure assez encourageante, et en définitive l'obligation d'exhausser les digues en tout ou en partie dans les siècles à venir, n'est pas pour effrayer beaucoup, vu le peu de probabilité qui existe et le long espace de temps qui peut s'écouler avant cela.

Le rétrécissement du lit à la dimension adoptée jointe à la solidité des digues contre tout affouillement dangereux pour prévenir les grandes brèches, peut amener avec le temps un approfondissement efficace et retarder d'autant l'époque où l'on éprouverait le besoin de relever les digues que la génération actuelle vient de reconstruire si coûteusement.

Les grandes brèches ont pour effet de jeter souvent une forte partie du fleuve sur la plaine latérale, de diminuer ainsi la masse d'eau en mouvement dans le lit principal, celle-ci affaiblie d'autant, laisse déposer ses charriages et provoque un rapide relèvement du lit. Chaque fois qu'une irruption s'est produite dans les crues dont nous avons été témoin, le lit au-dessous de la brèche s'est trouvé encombré et relevé par de nouveaux dépôts fort longs à faire disparaître, tandis que la concentration du courant dans son lit normal lui donne la force de pousser ses charriages de plus en plus loin. Le premier rang de digues fortement revêtues de forts matériaux, a pour but de concentrer le courant dans ces limites; les secondes digues n'ont plus pour effet que de contenir les eaux et protéger la contrée dans les cas momentanés d'une crue extraordinaire, ce qui n'est jamais de longue durée.

CONCOURS DE PROJETS DE CASERNES

POUR LA 1^{re} DIVISION

Rapport à la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes,
par J.-J. LOCHMANN, ingénieur.

Monsieur le Président et Messieurs,

Dans sa séance du 21 juin dernier, votre Société a décidé « en prévision de la clôture du concours pour le projet, des casernes de Lausanne, de désigner entre ses membres une commission chargée d'examiner ces projets, et de lui faire rapport sur ces travaux, afin de servir de base à une discussion dans l'une des plus prochaines séances de la Société. »

Cette commission a été composée de :

MM. Jaquerod, architecte à Aigle.

P. Charton, » à Lausanne.

Ed. van Muyden, architecte à Lausanne.

E. Colomb, ingénieur »

J.-J. Lochmann, ingénieur »

Ce dernier a été désigné comme rapporteur.

Elle s'est assemblée dès le premier jour de l'exposition des projets, savoir le 23 juillet, et a fonctionné jusqu'à la clôture de l'exposition, en ayant 8 séances, tant au Musée Arlaud que dans les bureaux du département militaire, qui avait bien voulu mettre à notre disposition les mémoires et devis des projets exposés.

Les bases de notre rapport et nos conclusions ont été fixées