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

Band: 2 (1876)

Heft: 3

Artikel: Éxposé de la méthode employée par MM. Pestalozzi et Legler, dans la recherche des moyens de régler le nouveau du lac Léman

Autor: Achard, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-3963

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 15.07.2025

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

2e ANNÉE SEPTEMBRE 1876 N° 3

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. — Exposé de la méthode employée par MM. Pestalozzi et Legler dans la recherche des moyens de régler le niveau du lac Léman, par M. *A. Achard*, ingénieur. — Notice sur le pont en ciment à Vevey (avec deux planches), par M. *E. Deladoey*, ingénieur. — Projet de nouvelles voies de communications entre la ville et la gare de Lausanne (avec une planche), par M. *H. Verrey*, architecte. — Société suisse des ingénieurs et des architectes, projets de statuts et communications.

EXPOSÉ DE LA MÉTHODE

EMPLOYÉE PAR MM. PESTALOZZI ET LEGLER, DANS LA RECHERCHE DES MOYENS DE RÉGLER LE NIVEAU DU LAC LÉMAN,

par M. A. Achard, ingénieur, à Genève.

On sait que le gouvernement vaudois a fait imprimer, au printemps dernier, la traduction des divers rapports qui lui ont été présentés dans les années 1874-75-76 par MM. Pestalozzi et Legler, sur la question du règlement des eaux du lac Léman, qu'ils avaient été chargés d'étudier.

Notre intention n'est pas d'analyser ni de discuter l'intéressant travail de ces deux ingénieurs, dont la compétence en pareille matière est incontestable. Nous nous proposons seulement de faire ressortir avec quelques détails la méthode dont ils se sont servis, mais qu'ils n'ont pas indiquée d'une manière explicite, et nous pensons faciliter ainsi la lecture de leurs rapports à toutes les personnes qui ne se sont pas spécialement occupées de questions de ce genre. D'ailleurs, cette méthode est générale et peut trouver son application pour des cas analogues.

Observations préliminaires.

Pendant un intervalle de temps donné, le lac reçoit de ses différents tributaires et de la pluie tombant sur sa surface un certain volume d'eau, tandis qu'une certaine quantité est absorbée par l'évaporation ou l'infiltration souterraine et qu'une autre quantité sort du lac par son émissaire.

Ce qui est important à considérer, ce n'est pas l'*entrée réelle* mais l'*entrée apparente*, c'est-à-dire l'excédant de l'entrée réelle sur le volume absorbé par infiltration et évaporation. C'est l'entrée apparente seule qui intervient dans l'écoulement; elle est susceptible d'évaluation, ainsi qu'on va le voir, sans qu'il faille passer par les deux quantités dont elle est la différence et dont la mesure ne serait guère possible.

Si, durant l'intervalle de temps envisagé, la sortie a été égale à l'entrée, il est clair que le niveau du lac sera, à l'instant final, identique à ce qu'il était à l'instant initial. Si, au contraire, l'entrée a excédé la sortie, le niveau se sera élevé; si la sortie a excédé l'entrée, le niveau se sera abaissé. Réciproquement, la constance du niveau pendant un certain temps démontrera l'équivalence des entrées et des sorties pendant ce temps, tandis que, d'une élévation ou d'un abaissement, on conclura à une prépondérance des entrées sur les sorties ou des sorties sur les entrées.

Le lac Léman ayant une superficie de 577,86 kilomètres carrés, une variation de niveau de $0^m,01$ correspond à un écart de 5 778 600 ^{m3} entre les entrées et les sorties. Si cette variation s'opère en 24 heures, l'écart entre les entrées et les sorties a été en moyenne de $66,^{m3}88$ par seconde durant cet intervalle.

Si l'on représentait graphiquement et exactement les variations du niveau du lac par une courbe dont les ordonnées figureraient la hauteur de la surface rapportée à un certain niveau fixe, tandis que les abscisses figureraient les temps, cette courbe, vu la grande superficie du lac par rapport au volume des entrées et des sorties, ne présenterait pas d'irrégularités bien sensibles; mais en même temps, comme soit les entrées, soit les sorties varient incessamment, et que par conséquent le niveau varie aussi, la courbe doit présenter habituellement une déclivité tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, en sorte que les ordonnées correspondant au commencement et à la fin d'un même jour ne seront généralement pas égales entre elles, ni à celle correspondant au milieu de ce jour.

Une courbe qui servirait à la représentation graphique des entrées aurait ce dernier caractère, mais, en outre, elle présenterait de très grandes irrégularités provenant de l'intervention des pluies abondantes qui grossissent énormément le volume des entrées dans un temps relativement très court.

La courbe des sorties serait dans le même cas, mais les irrégularités seraient moins sensibles sauf celles qui proviendraient de l'intervention de la main de l'homme, lorsque celui-ci, comme dans le cas actuel, modifie suivant ses besoins la section de l'émissaire à diverses époques.

On comprend, d'après cela, que si l'on voulait apporter une précision absolue dans la méthode dont nous allons parler et dans laquelle on est appelé à suivre les variations simultanées du niveau, des entrées et des sorties, il serait nécessaire d'envisager ces variations pendant des intervalles de temps extrêmement courts. Dans la pratique, on se contentera, ce qui donne une exactitude bien suffisante, et ce qui est déjà assez laborieux, de considérer les variations qui ont lieu d'un jour à l'autre. On supposera donc que chacune de ces trois variables : *entrée par seconde, sortie par seconde, niveau*, possède pendant toute une journée une valeur constante (égale, non à la moyenne des valeurs réelles que l'on ne connaît pas, mais à la valeur évaluée au milieu de la journée), et que chaque nuit, à minuit, elle saute brusquement de la

valeur correspondant au jour qui finit à la valeur correspondant à celui qui commence. Cela reviendrait, dans la représentation graphique, à substituer à la courbe réelle, pour chaque variable, une ligne brisée formée de parties horizontales et verticales, les premières correspondant aux intervalles consécutifs de 24 heures et les secondes aux instants qui séparent ces intervalles.

Constatation de l'état actuel.

Pour pouvoir juger des effets qu'on atteindrait par un mode proposé de régularisation, il faut au préalable se rendre compte de ce qui a lieu dans l'état actuel, et, pour cela, construire pour chacune de nos trois variables un tableau numérique ou graphique donnant ses valeurs quotidiennes successives pendant une année entière. C'est ce que les experts ont fait pour l'année 1874 de la manière suivante :

1° Le niveau a été mesuré par l'observation directe du limnimètre du jardin anglais, à Genève, contrôlé par trois autres limnimètres que les experts ont placés vers la jetée des Eaux-Vives, vers le débarcadère des bateaux à vapeur de la rive gauche et vers celui de la rive droite.

2° En ce qui concerne les sorties, le Rhône a été jaugé à plusieurs reprises et en différentes circonstances suivant un profil situé en face de l'usine à gaz de Genève et déjà utilisé à cet effet par le général Dufour en 1843; les résultats de ces jaugeages ont été portés comme ordonnées d'une courbe ayant pour abscisses correspondantes les lectures d'un limnimètre placé vers le profil en question, ces lectures ayant été faites au moment de chaque jaugeage. Comme la lecture du limnimètre a été répétée chaque jour de l'année, la courbe ainsi tracée permet d'évaluer, pour chaque jour également, le débit du Rhône, c'est-à-dire le volume d'eau sorti du lac.

3° L'évaluation des entrées a été la plus compliquée. En effet, on n'a pas le moyen d'évaluer les entrées réelles et d'en défalquer l'évaporation et l'infiltration pour obtenir par différence les entrées apparentes qui seules sont à prendre en considération. On a dû évaluer celles-ci à l'aide des sorties, déterminées comme on vient de le voir, et des différences entre les entrées et les sorties telles qu'elles résultent des variations de niveau. Les exemples suivants le feront mieux comprendre.

Le 8 juin, le limnimètre du lac ayant donné la même lecture que le 7, on en a conclu que, pendant la journée du 7, il y avait eu équilibre entre la sortie et l'entrée. Or ce jour-là, la courbe des débits ayant donné pour débit du Rhône, par seconde, le chiffre de 267^{m3}, ce même chiffre de 267^{m3} représentera les entrées dans la journée du 7.

Le 9 juin, le limnimètre du lac ayant accusé une élévation de $0^{m},02$ du niveau du lac par rapport au 8, on en conclut que dans la journée du 8, les entrées ont excédé les sorties de $2 \times 66,88 = 133^{m3},76$ par seconde. Or, la courbe des débits a donné pour débit du Rhône, le 8, le chiffre de 252^{m3}. Donc, ce même jour, les entrées se sont montées à $252 + 133,76 = 385^{m3},76$ par seconde.

Le 26 août, le lac marque au limnimètre un niveau inférieur de $0^{m},03$ à celui du 25. Ceci accuse, pendant la journée du 25, un déficit des entrées par rapport aux sorties équivalant à $3 \times 66,88 = 200^{m3},64$ par seconde. Mais, le 25, la sortie a été, d'après la courbe des débits du Rhône, de 463^{m3}. On en conclut donc que, dans cette même journée, l'entrée a été de $463 - 200,64 = 262^{m3},36$ par seconde.

En procédant de la même manière, les experts ont pu dresser le tableau des entrées d'eau dans le lac pendant tous les jours de l'année 1874. Ils ont même commencé à le faire dès le 14 octobre 1873.

Manière d'agir sur les sorties.

Nous pouvons passer maintenant à ce qui concerne le règlement. Comme toute intervention à l'égard de l'entrée se trouve impossible dans l'espèce qui nous occupe, c'est seulement en agissant sur la sortie qu'on peut réaliser des niveaux différents de ceux que l'on aurait si les choses demeuraient en l'état actuel. La manière dont on peut régler la sortie mérite de nous arrêter quelques instants.

Les moyens directs sont de deux sortes. On peut d'abord modifier la profondeur et la largeur du lit de l'émissaire. Plus ces deux dimensions seront considérables, plus sera grand le volume que l'émissaire pourra débiter avec une pente donnée, plus sera petite la pente requise pour débiter un volume donné.

On peut ensuite faire varier la section de l'émissaire en un point donné de son parcours, en la rétrécissant plus ou moins suivant les époques, au lieu de la laisser invariablement libre. En langage technique, cela s'appelle construire sur l'émissaire un barrage mobile qu'on peut dégarnir plus ou moins suivant les circonstances. Les spécifications de détail à cet égard constituent la partie essentielle des projets proposés par les experts.

Mais, à côté de cela, on peut agir indirectement sur la sortie en modifiant le niveau du lac, car par là on modifie la section mouillée de l'émissaire à sa naissance. Celui-ci débitera évidemment d'autant plus d'eau, toutes conditions égales d'ailleurs, que sa section mouillée à son origine sera plus grande, c'est-à-dire que le niveau du lac sera plus élevé. Ainsi donc, si d'une part on agit sur le niveau en modifiant la sortie, d'autre part on influence la sortie en modifiant le niveau : la sortie d'hier influe sur le niveau d'aujourd'hui, lequel, à son tour, influe sur la sortie d'aujourd'hui et par là sur le niveau de demain, et ainsi de suite. Cette action réciproque constitue la grande difficulté qu'offre l'étude dont nous nous occupons.

Marche à suivre pour trouver un mode de règlement satisfaisant.

Un projet de règlement du niveau du lac consistera dans la spécification des débouchés que le barrage devra présenter aux différents jours de l'année.

Mais on ne peut pas trouver du premier coup, et par une voie directe, le mode de règlement qui aura les résultats voulus quant au niveau. On est obligé de procéder indirectement en se donnant un règlement qui, *a priori*, paraisse conduire au but proposé, et en vérifiant ensuite *a posteriori* s'il y conduit effectivement.

Remarquons d'abord qu'il ne peut pas s'agir de calculer des résultats absolus, c'est-à-dire de déterminer les cotes que l'eau atteindra à telles et telles époques dans l'hypothèse de la réalisation du plan proposé, car ces cotes dépendent des entrées

qui auront lieu aux différents jours des années futures et qui échappent également à notre action et à nos prévisions. La vérification à faire ne pourra consister que dans une comparaison entre les cotes d'eau résultant du règlement et les cotes résultant de l'état actuel. Mais, précisément parce que les entrées futures nous sont inconnues, la comparaison ne peut porter que sur une année antérieure, pour laquelle on a dressé le tableau jour par jour des entrées. On a vu que les experts avaient fait ce travail pour 1874. La question est donc celle-ci : Quel eût été le régime du lac en 1874 si l'on eût été en mesure de faire fonctionner, pendant cette année, le plan de régularisation dont il s'agit d'apprécier l'efficacité ?

La marche à suivre est inverse de celle qui a été suivie pour l'évaluation des entrées en 1874. On avait alors pour données : les *niveaux* fournis par l'observation du limnimètre du lac, les *sorties* obtenues en combinant les lectures du limnimètre de la Coulouvrenière avec la courbe des débits. Ici, au contraire, les *entrées* sont devenues une des données de la question dont le *niveau*, à son tour, est devenu l'inconnue. L'autre donnée, ce sont les *sorties*. Celles-ci sont déterminées, d'une part, par la grandeur de la section mouillée, qui dépend à son tour du niveau, comme nous l'avons vu, et, d'autre part, par les manœuvres d'ouverture et fermeture du barrage. L'évaluation des sorties, qui correspondent aux divers niveaux, peut être considérablement facilitée par une courbe de débits ; seulement celle-ci, au lieu d'être construite d'après des observations, est construite d'après un certain nombre de calculs basés sur les formules en usage.

Dans ce calcul des niveaux au moyen des entrées et des sorties, on est naturellement obligé de se fixer un point de départ. Les experts ont choisi le 14 octobre 1873, parce que leurs observations ont commencé à cette date.

Du reste, un exemple est ce qui est le plus propre à expliquer la marche de leurs calculs.

Au 1er mai 1874 (jour qui peut également servir comme point de départ, parce que le niveau modifié se trouve coïncider à ce jour avec l'ancien niveau), les entrées dans le lac se trouvent être de $157^{m3},88$. En raison, soit du niveau du lac, soit de l'état assigné au barrage par le projet que l'on examine, l'émissaire débitera ce jour-là 319^{m3}. La sortie excédera donc l'entrée de $319 - 157,88 = 161^{m3},12$ ce qui amènera un abaissement de niveau de $0^{m},024$. Le niveau qui, le 1er mai, se trouvait à $1^{m},928$ au-dessous du R. P. N[1]., se trouvera, le 2 mai, à $1^{m},952$. En raison de cet abaissement, le débit de l'émissaire sera réduit à 311^{m3}, au lieu de 319, chiffre de la veille. Mais les tableaux donnent $153^{m3},38$ pour les entrées, à la date du 2 mai. La sortie excédera donc l'entrée de $311 - 153,38 = 157^{m3},62$, ce qui amènera encore une baisse de $0^{m},024$, en sorte que, le 3 mai, le niveau du lac sera $1^{m},976$ au-dessous du R. P. N., et ainsi de suite.

On comprend que, dans les époques où l'on ne touche pas le barrage, les débits de l'émissaire, c'est-à-dire les sorties, varient fort peu d'un jour à l'autre, puisque leur variation est exclusivement occasionnée par celle du niveau ; tandis que, aux jours fixés pour ouvrir ou fermer le barrage, elles varient brusquement de quantités considérables. C'est par exemple ce qui doit avoir lieu dans un des projets le 21 mai, où la sortie doit passer brusquement de 209^{m3} à 127, tandis que le 1er juin elle doit passer de 149^{m3} à 243.

Si la vérification dont on vient de voir la marche ne donne pas le résultat voulu, il faudra modifier le projet de règlement et soumettre le projet modifié à la même épreuve.

Les explications qui précèdent permettent d'apprécier la difficulté du problème qui consiste à déterminer les moyens par lesquels on obtiendra un règlement du lac conforme à certaines bases données.

D'un côté, on ne peut le résoudre que par approximations successives ; en d'autres termes, on doit vérifier l'efficacité des moyens en traçant la courbe des niveaux du lac auxquels ils conduiraient, et ne s'arrêter que lorsqu'on sera arrivé à une courbe qui coïncide suffisamment avec celle qu'on cherche à réaliser.

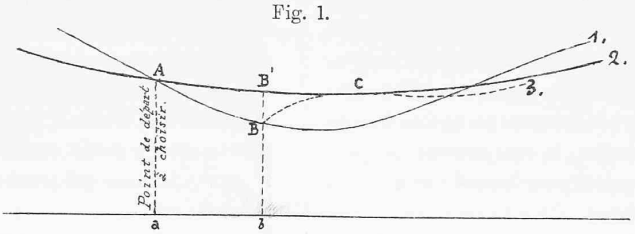
D'un autre côté, les courbes à construire ne sont point assimilables à une courbe qui serait représentée par une équation et dont on peut déterminer n'importe quel point correspondant à une abscisse arbitrairement choisie. Mais ce sont des courbes dont chaque ordonnée est en quelque sorte une fonction de celle qui les précède d'un intervalle donné, en sorte qu'on ne peut la construire que par voie de cheminement.

Cette dernière remarque montre que le point de départ de la vérification n'est pas indifférent, puisque la fixation de la première ordonnée de la courbe en dépend, et tout le reste de la courbe par conséquent. Pour que la courbe de vérification soit la représentation de ce qui se passerait si le nouveau règlement de niveau était entré dans une période d'application régulière, point de départ à choisir serait un jour où l'ancien niveau et celui qu'on cherche à réaliser se trouveraient identiques, ou, si l'on veut, un jour indiqué par une abscisse pour laquelle la courbe des niveaux actuels et la courbe des niveaux projetés se couperaient. Si l'on adoptait un autre point de départ, il faudrait s'arranger pour construire en commençant la courbe de vérification de manière à lui faire rejoindre le plus promptement que possible la courbe projetée. Par exemple, dans la fig. 1, si au lieu de choisir comme point de départ l'ordonnée commune Aa, on choisit l'ordonnée Bb, il faudra que la courbe de vérification commence par un arc anormal BC qui lui fasse rejoindre en C la courbe projetée ; restera à voir si, à partir de C et construite d'après le projet à vérifier, elle se rapproche de celle-ci suffisamment. L'arc anormal BC serait la traduction graphique des manœuvres transitoires par lesquelles il faudrait commencer la pratique du nouveau règlement, si celui-ci entrait en vigueur un jour où le niveau ancien Bb se trouverait différent du niveau projeté B'b. Une fois le niveau voulu regagné en C, les manœuvres commenceraient à être conformes au règlement.

L'objectif poursuivi par le règlement du niveau d'un lac n'est pas toujours le même. Ainsi, celui du règlement tout récemment proposé pour le lac de Lucerne consisterait à tenir le lac plus élevé en hiver qu'en été. Pour le lac Léman, on se propose de rendre les hautes eaux à la fois moins longues et moins hautes et de relever les basses eaux pour rendre la navigation possible en tout temps et dans tous les ports. On a donc pour objectif une régularisation proprement dite, c'est-à-dire l'obtention de niveaux s'écartant moins de la moyenne en tous sens que dans l'état actuel. L'indice de l'efficacité sera alors la différence

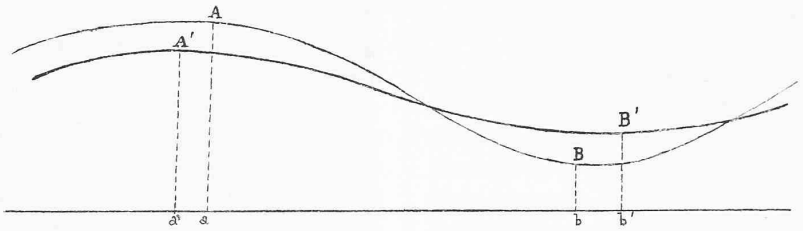
[1] Repère de la Pierre à Niton, dont l'altitude est fixée par le bureau topographique vaudois à $376^{m},640$.

Fig. 1.



1. Courbe actuelle des niveaux. — 2. Courbe des niveaux projetés. — 3. Courbe de vérification.

Fig. 2.



entre les niveaux maxima ancien et nouveau $\overline{Aa}$ — $\overline{A'a'}$ (fig. 2) et celle entre les niveaux minima ancien et nouveau $\overline{Bb'}$ — $\overline{Bb}$. Il va sans dire que les maxima ancien et nouveau ne tombent pas nécessairement sur le même jour et qu'il en est de même des deux minima.

Genève, août 1876. A. Achard.

NOTICE SUR LE PONT EN CIMENT SUR LA VEVEYSE A VEVEY

par F. Deladoey, ingénieur.

La question des ponts en béton de ciment qui, depuis plusieurs années, est à l'ordre du jour dans les pays qui nous avoisinent et principalement en France, n'a reçu que fort peu d'applications dans notre pays ; aussi croyons-nous utile de donner quelques détails sur l'exécution du seul ouvrage de quelque importance qui ait été construit dans le canton de Vaud : le pont sur la Veveyse, à Vevey.

Le pont de Vevey, que représentent nos planches, est situé à environ 150 mètres de l'embouchure de la Veveyse, il traverse ce torrent, dont la largeur en ce point est de 18 mètres, au moyen d'une seule arche surbaissée au $^1/_{10}$. Le pont a entre parapets une largeur de 10^m 50, comprenant une voie carrossable de 6 mètres et deux trottoirs de 2^m 25 chacun.

L'exécution de cet ouvrage fut confiée à la maison Delastre, propriétaire de fabriques de ciment à Virieu-le-Grand (Ain), qui avait déjà exécuté plusieurs travaux analogues importants dans les cantons de Genève et de Berne.

Les travaux, qui devaient être terminés à la fin d'août 1874, furent commencés au commencement de mars de la même année.

L'approvisionnement des graviers qui devaient entrer dans la confection du béton fut poussé très activement. Le travail devant se faire autant que possible sans interruption, si l'on veut obtenir une masse homogène, il importe que les matériaux soient toujours approvisionnés en quantité suffisante. Ces graviers provenaient de la grève du lac et étaient amenés sur le chantier au moyen d'un petit chemin de fer longeant la rive droite de la Veveyse ; ils renfermaient, en volume, $^2/_3$ de galets de dimensions variées, $^1/_3$ de sable pur et grenu. La propreté du gravier étant un élément important de réussite de ce genre de travail, celui de la Veveyse, quoique plus à portée, fut rebuté, soit qu'il n'offrît pas la propreté désirable, soit que le sable qu'il renferme ne possédât pas les qualités de celui du lac.

Le creusage des fondations des culées une fois terminé, ce qui n'offrit aucune difficulté, on procéda au coulage du béton. La fabrication du béton différait essentiellement de ce qui se pratique ordinairement. Le gravier renfermant, ainsi que nous l'avons dit plus haut, $^1/_3$ de son volume de sable, était mélangé à sec aussi intimement que possible avec la chaux en poudre, l'eau nécessaire était ensuite ajoutée peu à peu au moyen d'une pomme d'arrosoir pendant un brassage énergique. Les brassées se faisaient par quantités d'un mètre cube.

La chaux employée dans le béton des fondations et la partie inférieure des culées était la *chaux lourde de Virieu*, dont la prise se fait dans les 12 heures.

Il entrait dans la composition du béton de 150 à 200 kilogrammes de chaux par mètre cube de gravier, soit environ $^1/_6$ en volume.

Dans la partie supérieure des culées et la voûte, on employa exclusivement le ciment dit de Portland, dont la prise a lieu 12 à 15 heures après son emploi. La proportion était de 250 kilogrammes de ciment par mètre cube de gravier.

Le béton était coulé dans un encaissement en planches jointives ayant exactement la forme de la culée. La prise du béton était assez rapide pour que la paroi n'eût qu'une très faible pression à supporter ; cette paroi était maintenue rigide au moyen de cadres en bois fixés dans sa partie supérieure et au milieu de la hauteur.

Au milieu d'avril, les deux culées étaient achevées et les travaux préparatoires pour le coulage de la voûte purent être commencés. L'encaissement qui devait supporter la voûte était