Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 77/78 (1921)
Heft: 24

Artikel: Influence de l'encastrement latéral dans les grands barrages
Autor: Juillard, H.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-37367

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: 12.07.2025

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

Man hat Versuche mit akustischen Apparaten gemacht, insbesondere mit Telephonen, Sirenen, Sprachrohren und dergl. Diese Methoden haben versagt. Nach längerer Flugdauer ist das menschliche Gehör durch den Motorlärm nicht mehr hinreichend aufnahmefähig. Gleichfalls haben die Versuche, auf optischem Wege durch Linsen und Prismen-Systeme die Befehle zu übermitteln, keine Erfolge gebracht. Gut hat sich dagegen die Verwendung von Maschinentelegraphen bewährt. Sie haben allerdings den Nachteil, dass die Anzahl der Befehle, die übermittelt werden können, beschränkt ist. Um aussergewöhnliche Meldungen zwischen der Besatzung austauschen zu können, wurde in die Staakener Riesenflugzeuge eine Rohrpostanlage eingebaut, die sich gleichfalls sehr gut bewährt hat.

(Schluss folgt.)

Influence de l'encastrement latéral dans les grands barrages.

Par *H. Juillard*, ingenieur.

(Fin de la page 274.)

II. Application.

Nous avons, pour illustrer cette théorie, traité un exemple particulier: le barrage Roosevelt (Arizona, U.S.A.). Afin d'éviter les a priori absolument injustifiés que l'on trouve trop souvent sur cette question dans la littérature moderne, il était nécessaire de traiter un barrage de grandes dimensions. Dans ce cas seulement on pourra conclure sur tous les effets qui se produisent, lesquels ne sont naturellement pas directement proportionnels aux dimensions et restent en partie inaperçus dans les ouvrages de moindre importance. Le passage du plus grand au plus petit est ensuite plus aisé que la généralisation du plus petit au plus grand.

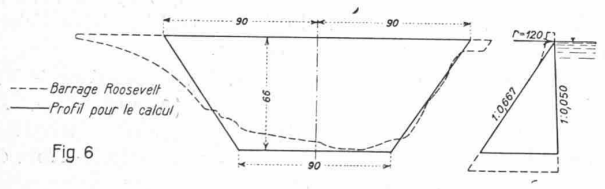

Fig. 6

Le barrage Roosevelt a été dimensionné comme mur de gravitation en réalisant la condition qu'il n'existe pas, — abstraction faite des souspressions de l'eau — d'efforts de traction sur le parement amont. Le mur a été établi en plan suivant un arc de cercle de 120 m de rayon. Il n'a pas été étudié (comme cela fut fait pour le barrage du Cheesman Lake[1]) qui lui est quelque peu antérieur) quelle était l'influence produite par la voûte et l'encastrement latéral. La forme du profil du barrage Roosevelt peut néanmoins être taxée de plus heureusement choisie que celle du Cheesman Lake Dam, ce qui provient des prémices trop peu justifiés sur lesquels se base le calcul de celui-ci.

L'hospitalité restreinte dont nous jouissons dans cette revue ne nous permet malheureusement pas de reproduire le détail du calcul qui seul donne une idée juste et claire de l'importance des divers facteurs composant les efforts, et de la manière dont ils varient en fonction de la position du point considéré. Nous devons donc nous borner à résumer ici les résultats les plus importants de ce calcul:

Sur le parement amont agissent dans les arcs des efforts de traction ascendant (naissance) à 5 kg/cm², tandis que sur le parement aval la pression atteint 10 kg/cm², en outre les efforts produits par la charge d'eau sur la poutre médiane sont environ de 20 % inférieurs à ceux survenant dans un mur de gravitation.

Il est à remarquer que la forme du barrage Roosevelt n'est pas du tout favorable pour l'action de la voûte horizontale et qu'en outre le profil employé est parmi les plus élancés qui aient été adoptés pour des ouvrages de cette importance. Ce profil serait en effet instable s'il devait supporter la retenue d'eau totale et les sous-pressions non réduites.

Considérons à titre comparatif une autre section de vallée triangulaire, par exemple avec escarpements latéraux inclinés à 45°, la longueur du couronnement et la courbure restant les mêmes, l'inclinaison des parements étant par contre celle correspondant à un mur de gravitation remplissant la condition qu'il n'agisse pas de traction sur le parement amont, même en considérant les *souspressions non réduites* (condition qui est remplie lorsque $c = \sim 0{,}85$, voir sous 3 *b*). Nous obtenons alors, dans les sections verticales, des efforts du même ordre de grandeur que ceux calculés pour le barrage Roosevelt, tandis que les poutres sont considérablement déchargées et que la pression maximum verticale n'agit non pas à la base, mais au $^3/_5$ de la hauteur à partir de la crète; la pression maximum calculée à ce point d'après Lévy n'est que très peu supérieure à la pression maximum agissant dans les arcs (celle-ci étant 10 kg/cm² au $^1/_4$ de la hauteur).

Ayant constaté que des efforts de traction relativement élevés peuvent se produire aux appuis, on objectera que dans ce cas l'encastrement latéral est détruit et que le barrage travaille comme mur de gravitation. Ceci n'est qu'en partie exact. Supposons en effet qu'une rupture se produise à la naissance des voûtes; dans ce cas la voûte devient un arc à deux articulations qui présente une plus grande fatigue dans le voisinage du sommet que l'arc encastré. Il y a donc danger d'une nouvelle rupture. Même après celle-ci, l'arc est néanmoins capable de travailler comme arc à trois articulations, et un renversement du barrage reste surbordonné à une destruction totale de la résistance à la compression de l'arc.

On ne saurait cependant tolérer la présence de telles fissures, et on sera ainsi amené à choisir une construction diminuant les efforts de traction c.-à-d. rendant l'encastrement effectif.

III. Influences non considérées et critique de la méthode.

Nous n'avons pas traité jusqu'ici l'influence des charges verticales: le poids propre et les sous-pressions.

Les *pressions verticales* exercent une influence sur les pressions horizontales et réciproquement. Un corps soumis à une pression subit en effet une dilatation dans le plan perpendiculaire à la pression. Cette dilatation ne pouvant s'effectuer librement dans tous les sens, il en résultera une résistance qui diminue la pression sur les éléments successifs. Il est impossible, sans trop compliquer les calculs, de tenir rigoureusement compte de ce phénomène, mais nous pouvons néanmoins en évaluer les effets. Les pressions dans le barrage sans retenue n'ont pas grand intérêt; leur répartition dépend beaucoup du mode de construction, mais il est légitime de supposer que les parties les plus fatiguées seront plutôt déchargées. Lorsque le barrage est en charge, les efforts verticaux sur le parement amont sont faibles et ne peuvent influencer beaucoup les efforts horizontaux; sur le parement aval par contre a lieu une charge supplémentaire des arcs au profit des poutres. Ces efforts secondaires ne sont pas défavorables puisqu'il ne peut s'agir que d'efforts de compression.

Les souspressions peuvent être considérées de deux points de vue différents relativement à la matière dont elles se produisent. On peut premièrement admettre que la souspression se transmet par porosité dans le barrage. La surface sur laquelle agirait alors la pression serait proportionnelle au volume d'eau contenu dans le barrage qui aurait subi de ce fait une augmentation de poids propre égal à la souspression. Plus défavorable est l'hypothèse suivant laquelle la souspression n'agirait que dans les fissures de la maçonnerie. Cependant comme celles-ci ne doivent être qu'un accident et non la règle générale dans un barrage, il n'y a pas lieu de faire une étude spéciale des efforts qu'elles produisent. Cette question est par

[1]) Voir „Proceedings of the American Society of Civil Engineers", mars, mai, août et septembre 1904.

contre très importante pour l'examen de la stabilité des murs de gravitation. Ici aussi il semble que la supposition de fissures horizontales traversant toute la masse du barrage est par trop défavorable et qu'on peut certainement tenir compte d'une résistance aux souspressions (traction) de quelques kg/cm², si lors de la construction on évite les joints horizontaux continus. Une telle resistance à la traction entre le fondement et la roche est par contre plutôt douteuse, de sorte qu'un drainage serait ici plus prudent, et ce drainage coupant la surface de contact entre la roche et la maçonnerie sera certainement efficace.

Le calcul des efforts produits par un changement de *température* uniforme Δt est aisé. Il suffit pour celà de déterminer le déplacement δxt de la force X dans sa direction par suite d'une variation de température de 1°.

$$\delta xt = \alpha_t \cdot r \cdot \sin \alpha$$

$$X_t = \frac{\alpha_t \cdot \Delta t \cdot r \cdot \sin \alpha}{\delta_{xx}}$$

L'évaluation des différents cœfficients et des écarts de température est par contre très difficile; on ne pourra résoudre cette question qu'à la suite de longues et délicates recherches effectuées sur de nombreux exemples.

Il nous reste maintenant à critiquer l'approximation que peut fournir notre méthode aux trois points de vue suivants.

a) Hypothèses dans la détermination des efforts statiques. Le système statique étant adopté, il n'a été fait aucune supposition lors de l'établissement des formules fondamentales et tous les efforts ont été pris en considération.

b) Hypothèses concernant le choix du système statique. Nous avons déjà discuté ces hypothèses en exposant les principes de la méthode et montré que le système adopté est presque identique au système vrai. Les moments de torsion qui n'ont pas été pris en considération réduisent en réalité les efforts de flexion, tandis que l'expansion latérale a pour conséquence une compression un peu plus forte pour la voûte et un peu plus faible pour la poutre.

c) Hypothèses faites sur la matière et ses propriétés élastiques. Ces hypothèses sont celles faites ordinairement dans le calcul des murs de gravitation; il reste donc à examiner l'influence spéciale qu'elles exercent sur la valeur des grandeurs hyperstatiques X, Z et $\frac{p-Y}{p}$. Le calcul de X, Z et $\frac{p-Y}{p}$ est basé sur celui du travail virtuel de déformation. Les principes fondamentaux de ces déductions sont indiscutables et il ne peut entrer d'hypothèses que dans le choix des déplacements virtuels, lesquels ont été identifiés aux déplacements produits par la déformation effective.

Ayant désigné par N, M, Q la force axiale, le moment et la force de cisaillement agissant dans une section F', nous avons supposé que l'élément ds (compris entre F et F') subissait les deux déplacements suivants (fig. 7):

longitudinalement: $\frac{N \cdot ds}{E \cdot F}$

transversalement: $\frac{Q \cdot ds}{G \cdot F}$

et une rotation: $\frac{M \cdot ds}{E \cdot J}$

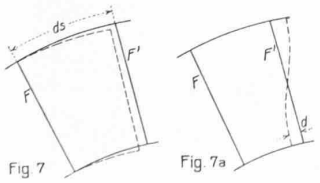

Fig. 7 Fig. 7a

L'hypothèse faite est que les sections F et F' étant planes, la section F' restera par rapport à F plane après la déformation, ce qui est sans autre admissible pour N et Q (N doit être par définition considéré comme charge uniformément répartie).

On peut en outre démontrer que même cette hypothèse de Navier ne joue aucun rôle dans le calcul de X et Z lorsqu'il s'agit d'un arc d'épaisseur constante. En effet: si lors de la flexion la surface F' ne restait pas plane, on ne pourrait plus parler sans autre de rotation de la section. Nous définirions alors ε comme étant un cœfficient tel que le travail A effectué par le moment de flexion M lors de la déformation d soit (fig. 7 a):

$$A = \frac{M}{\varepsilon \cdot J}$$

On peut admettre que les ordonnées d sont proportionnelles à M, c.-à-d. — *la matière étant supposée homogène* —, $\frac{A}{M} = \frac{1}{\varepsilon \cdot J}$ est une constante pour un même arc. Le facteur $\frac{1}{\varepsilon \cdot J}$ qui est commun au numérateur et au dénominateur peut être supprimé dans les expressions

$$X = -p \frac{\delta mx}{\delta xx} \text{ et } Z = -p \frac{\delta mz}{\delta zz}$$

Il est à remarquer que de cette manière il n'est fait dans tous les cas aucune supposition sur la répartition des efforts agissant dans une section.

Si la matière n'est *pas homogène*, les ε varieront d'une section à l'autre, mais on trouvera toujours des valeurs E_1 et E_2 comprises entre les valeurs extrêmes des ε tels que

$$X = -p \frac{E_1 \cdot \delta mx}{E_2 \cdot \delta xx}$$

E_1 et E_2 sont fonctions analogues d'une même variable et l'on a certainement $\frac{E_1}{E_2}$ plus près de 1 que $\frac{E_1}{E_{moyen}}$ et $\frac{E_2}{E_{moyen}}$ où à leur tour E_1 et E_2 sont compris entre les valeurs extrêmes de ε; $1 - \frac{E_1}{E_2}$ c.-à-d. l'erreur commise en posant $\frac{E_1}{E_2} = 1$ n'est donc qu'une fraction du pour cent dont les ε varient sur un même arc.

Il faut naturellement assimiler à cette erreur la variation de E pour les efforts normaux et de G pour les efforts tranchants.

En résumé on constate que la méthode contient deux sources d'erreur. La première, provenant de ce que l'expansion latérale et la torsion n'ont pas été prises en considération, ne diminue pas la sécurité du résultat. La seconde source d'erreur provient de la non-homogénéité du barrage. L'approximation qui en résulte ne doit être comme nous l'avons montré qu'une fraction du pour cent dont les cœfficients d'élasticité varient.

Il faut encore relever ici l'excellente vérification fournie par l'équation (16). *On calculera à cet effet les forces de cisaillement aux appuis des voûtes et des poutres, et on vérifiera que ces forces doivent être dans un certain rapport dépendant uniquement de la forme de la vallée à barrer.* Finalement on composera les réactions extérieures obtenues dans les deux systèmes, et la résultante de toutes ces forces devra directement équilibrer la charge d'eau agissant sur le barrage. Ces deux vérifications ont donné lors de nos applications de très réjouissants résultats.

Remarque: Nous n'avons donné pour les calculs se rapportant à la voûte que les formules supposant une épaisseur constante de la naissance au cintre. Lorsque cette épaisseur est variable, les calculs deviennent plus longs mais ne présentent pas de nouvelle difficulté de principe. On peut alors avec une exactitude suffisante diviser l'arc en un certain nombre de sections d'épaisseur constante auxquelles nos équations sont applicables.

Conclusion.

Le résultat le plus frappant de cette étude est de montrer que *des efforts de traction importants* peuvent se produire dans un barrage, même si le dimensionnement basé sur la théorie des murs de gravitation avait pour but *d'éviter* absolument toute traction.

Bien que 5 kg/cm² ne représentent pas une fatigue très grande pour un bon mortier (les normes fédérales tolèrent pour les constructions en béton armé jusqu'à 8 et 10 kg/cm² de traction) on n'est néanmoins pas accoutumé à de tels efforts dans le calcul des barrages qui sont des constructions effectuées beaucoup moins soigneusement. On exige même généralement que la *pression minimum* sur le parement amont ne soit nulle part *inférieure* à la pression d'eau au point considéré.

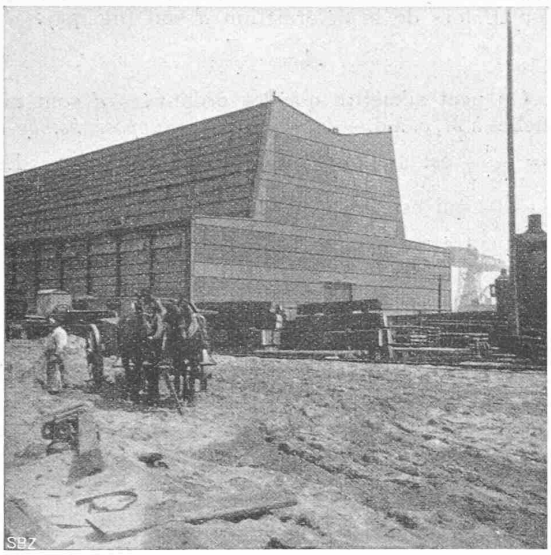

Abb. 6. Montagehalle der Kriegschiffwerfte in Philadelphia.

Abb. 5. Nelson-Monument samt Umgebung, in Montreal.

Mais ce dimensionnement, qui dans le cas des murs de gravitation assure au barrage une *stabilité absolue* et *augmente l'étanchéité* en empêchant l'écartement des fissures horizontales, n'est plus du tout justifié dans celui des barrages encastrés.

La stabilité n'a en effet pour les barrages encastrés plus aucune signification, et la sécurité de l'ouvrage est donnée par la sécurité de l'arc à la rupture, tout comme pour une voûte de pont. — Il est de plus évident que la seconde propriété n'est qu'illusoire si les joints verticaux ne présentent pas la même étanchéité que les joints horizontaux.

On remarque secondement que les *efforts de pression* survenant dans les joints verticaux sont du même ordre de grandeur que les efforts maxima dans les joints horizontaux et *méritent également d'être pris en considération dans le choix du dosage du ciment;* et qu'il serait — indépendemment de l'étanchéité — tout à fait injustifié d'attribuer à la pointe inférieure d'un mur barrant une gorge de section triangulaire un dosage plus riche qu'aux parties situées à mi-hauteur.

Il ressort en outre de ces recherches que le travail de la voûte et l'encastrement latéral sont loin d'assurer aux barrages d'un certain développement cette sécurité dogmatique que la littérature leur attribue. On voit aussi qu'à plus forte raison il est injustifié de spéculer sur ces éléments pour réaliser une grande économie de matériaux.

Ceci ne veut pas dire qu'il faille négliger le travail de la voûte; il importe au contraire d'en tenir compte en donnant au mur *une forme plus appropriée que celle correspondant à un mur de gravitation.* Il est en effet *absolument illogique* de dépenser de fortes masses pour assurer dans une direction une *étanchéité* qui est tout à fait problématique dans la direction perpendiculaire, ou pour augmenter une stabilité qui n'a plus de signification. Avec le même cube de maçonnerie on peut, en diminuant l'épaisseur du barrage au sommet de l'arc et en renforçant les appuis, obtenir une meilleure répartition des efforts. Dans le barrage Roosevelt cependant il ne serait guère possible d'obtenir une réduction sensible de la traction sans augmenter la masse du barrage.

Si, tout en conservant la même hauteur de retenue, nous considérions un barrage de plus grande longueur, il serait alors nécessaire de renforcer le profil jusqu'à ce qu'il atteigne des dimensions telles que la stabilité puisse être complètement assurée par le mur de gravitation agissant seul. Au delà de cette limite il est préférable de couper le mur par des joints transversaux. Par contre lorsque la vallée présente plus nettement le caractère d'une gorge

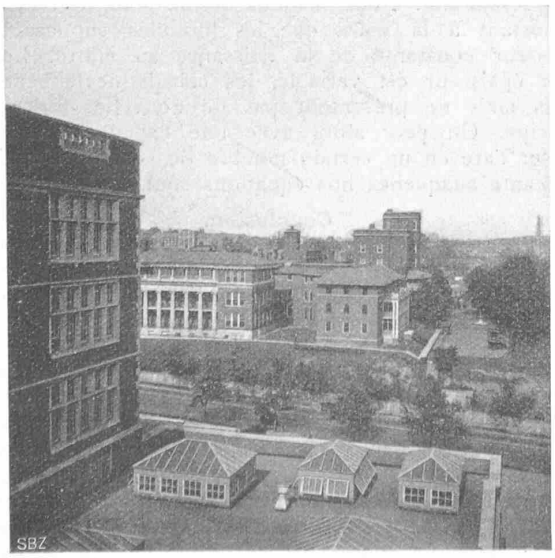

Abb. 8. High-School und Privat-Spitäler in Washington.

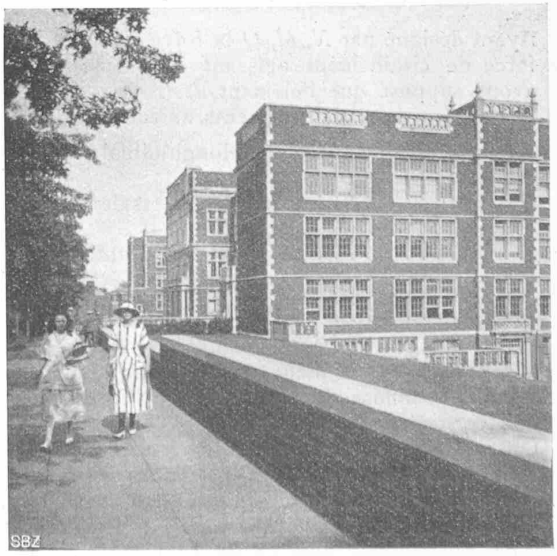

Abb. 7. Neubauten der High-School in Washington.

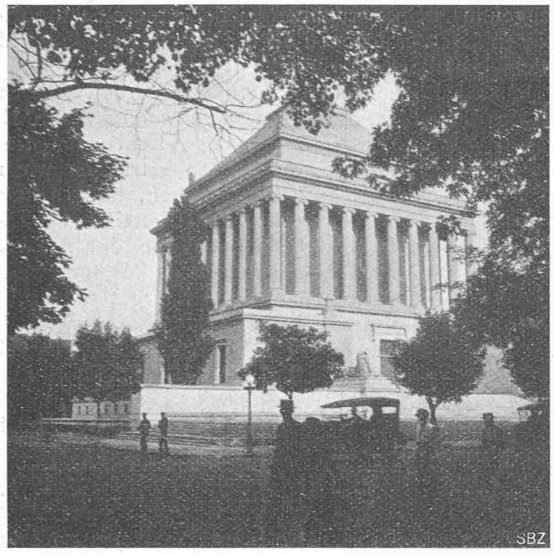

Abb. 1. Masonic-Temple in Washington.

Abb. 2. Kunstmuseum in Cincinnati.

on peut, tout en assurant à l'ouvrage une sécurité suffisante, effectuer une économie de matière. Pour une section de gorge triangulaire ou simplement plus étroite en bas qu'en haut, la poutre est tellement déchargée dans ses parties basses, qu'on peut adopter un profil de barrage à forme convexe (fig. 8). Les formules nous montrent en effet, comme nous l'avons déjà remarqué, que la partie inférieure travaille avant tout comme coin au cisaillement. On ne devra cependant pas adopter des formes trop compliquées et se rappeler qu'un profil simple et robuste assure malgré tout la meilleure répartition des efforts et est préférable tant au point de vue de la construction qu'à celui de la conservation de l'ouvrage.

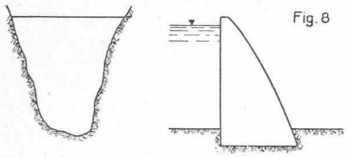

Fig. 8

Nous terminons en exprimant l'espoir que cette étude atteindra son but en montrant la nécessité absolue qu'il y a de traiter les barrages encastrés comme tels, et contribuera à écarter les objections d'insécurité que l'on faisait, a priori, à toute méthode s'occupant de cette question.

Innertkirchen, Mars 1921.

Nordamerikanische Reiseeindrücke eines Architekten.[1])

Im Anschluss an den in vorletzter Nummer erschienenen Bericht über die Ergebnisse der nordamerikanischen Studienreise eines Ingenieurs, lassen wir hier einiges aus dem temperamentvollen Reisebericht folgen, mit dem, anhand zahlreicher Lichtbilder meist eigener Aufnahmen, Arch. M. Häfeli am 9. Februar d. J. den Zürcher Ingenieur- und Architektenverein erfreut hat. Es handelte sich damals um Wiedergabe von Reiseeindrücken in der zwanglosen Form einer Plauderei, wobei Manches blitzlichtartig kurz gestreift, Anderes wieder etwas eingehender geschildert wurde, und zwar nicht in logischem Aufbau, sondern in buntem Wechsel, so wie eben die Eindrücke sich dem Reisenden darboten. Wir greifen aus dem Manuskript im gleichen Sinn das Folgende heraus, ohne Anspruch auf Vollständigkeit und Zusammenhang.

Die Reise der zweiten „Swiss Mission", an der sich der Berichterstatter beteiligt hatte, ging von New-York über Philadelphia, Washington, Pittsburg, Dayton, Cincinnati, Detroit, Cleveland, Chicago, Buffalo, Syracuse, Albany,

[1]) Wir erinnern an frühere Reiseberichte von Prof. Dr. F. Bluntschli (Bd. XXXVIII, 1901) und Prof. A. Rohn (Bd. LXVIII, 1916).

Abb. 3 und 4. „Octogon-House" in Washington, jetzt Vereinshaus des Nordamerikanischen Architekten-Vereins (älterer „Colonial-Styl").