

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 31 (1905)
Heft: 17

Artikel: Emploi du béton en Angleterre dans la construction des ponts
Autor: Gaudard, J.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-24871>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 29.03.2025

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

Bulletin technique de la Suisse romande

ORGANE EN LANGUE FRANÇAISE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES. — Paraissant deux fois par mois.

Rédacteur en chef: M. P. HOFFET, professeur à l'Ecole d'Ingénieurs de l'Université de Lausanne.

Secrétaire de la Rédaction: M. F. GILLIARD, ingénieur.

SOMMAIRE: *Emploi du béton en Angleterre dans la construction des ponts*, par M. J. Gaudard, professeur honoraire. — *L'architecture moderne en Allemagne*, par M. A. Lambert, architecte (suite). — **Divers**: Tunnel du Simplon. Extrait du XXVI^e rapport trimestriel sur l'état des travaux au mois d'août 1905. — Tunnel du Ricken. Bulletin mensuel des travaux: août 1905. — Hôtel des postes et des télégraphes à La Chaux-de-Fonds. — *Sociétés*: Association suisse des électriciens. XVIII^e assemblée générale, les 24 et 25 septembre, à Fribourg. — Union des Centrales suisses d'électricité. Ordre du jour de l'assemblée générale.

Emploi du béton en Angleterre dans la construction des ponts.

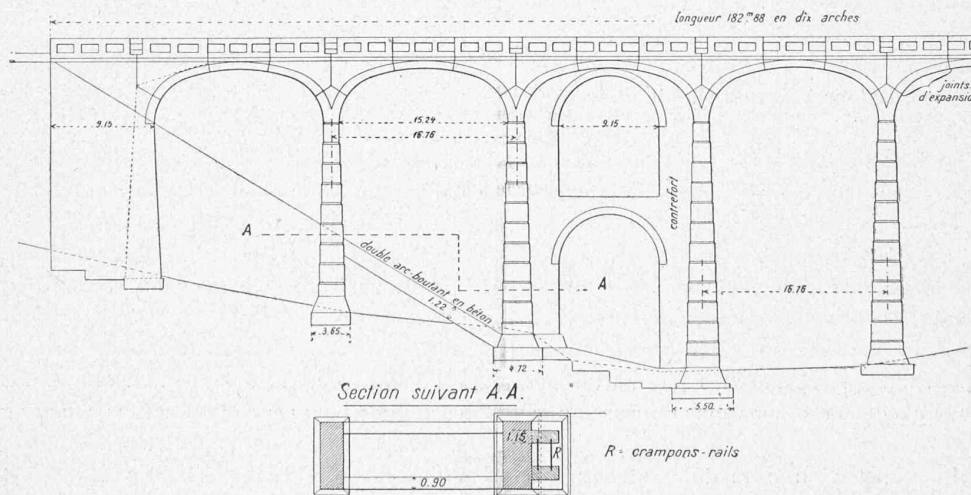
Par M. J. GAUDARD, professeur honoraire.

VIADUC DE CANNINGTON

Un mémoire présenté à l'Institution des Ingénieurs civils anglais par MM. Arthur Wood-Hill et Edward David Pain sur la *construction d'un viaduc de railway en béton* m'a procuré l'occasion de remettre à cette société un croquis du pont en béton armé de Chauderon-Montbenon. Ce croquis, représentant une demi-arche d'après les plans que m'ont fournis MM. de Vallière et Simon, a été publié dans la correspondance relative à l'ouvrage anglais, et je pense

gleterre. Il présente dix arches elliptiques de 15^m,24 d'ouverture; la plus grande hauteur est de 28 m. jusqu'au rail; la largeur 4^m,88 entre têtes et 4^m,27 entre les parapets, qui ont un léger porte-à-faux extérieur. La construction a été entièrement exécutée en béton de ciment coulé sur place, à la seule exception des bandeaux des voûtes aux deux têtes, faits en blocs de béton moulés d'avance et laissés durcir deux mois avant la pose.

Une seconde particularité consiste dans l'emploi d'un câble de levage qui élevait et transportait en place, sans le secours d'aucun échafaudage, le béton, ainsi que les coffres destinés à le contenir pendant le moulage des piles. Les premiers moules furent construits avec un bordage continu en madriers verticaux, que maintenaient des liernes hori-



Viaduc de Cannington. — Echelle: 1 : 630.

que quelques mots sur ce dernier, et en général sur l'emploi du béton en Angleterre, pourront réciproquement être de nature à intéresser les lecteurs de notre *Bulletin*. Nous avons obtenu la bienveillante autorisation de l'Institution pour puiser des renseignements dans le mémoire de MM. Wood-Hill et Pain, ainsi que dans la discussion et la correspondance auxquelles il a donné lieu.

Le viaduc de Cannington a été livré à la circulation en 1903, pour un chemin de fer secondaire à simple voie normale allant d'Axminster à Lyme Regis, dans le Sud de l'An-

gleterre. Il présente dix arches elliptiques de 15^m,24 d'ouverture; la plus grande hauteur est de 28 m. jusqu'au rail; la largeur 4^m,88 entre têtes et 4^m,27 entre les parapets, qui ont un léger porte-à-faux extérieur. La construction a été entièrement exécutée en béton de ciment coulé sur place, à la seule exception des bandeaux des voûtes aux deux têtes, faits en blocs de béton moulés d'avance et laissés durcir deux mois avant la pose.

Une seconde particularité consiste dans l'emploi d'un câble de levage qui élevait et transportait en place, sans le secours d'aucun échafaudage, le béton, ainsi que les coffres destinés à le contenir pendant le moulage des piles. Les premiers moules furent construits avec un bordage continu en madriers verticaux, que maintenaient des liernes hori-

constituaient le moule étaient exactement verticaux, et se trouvaient soutenus par des retraites de la pile, ménagées à des intervalles de 1^m,83 en hauteur et offrant une saillie de 38 mm. sur les longs côtés et de 76 sur les petits. De plus, chaque moule était maintenu en place jusqu'à ce qu'on eût confectionné les deux premières couches dans un second moule placé au-dessus de lui. La position était soigneusement repérée, et aucune retouche ni aucun enduit ne fut appliqué sur les parements des piles, qui présentent ainsi, au lieu d'un fruit continu, une série de ressauts.

Pour l'exécution des voûtes, on effectua, au moyen du câble, le levage de cintres légers, tout assemblés à pied d'œuvre, et qui vinrent s'appuyer sur deux rangs de corbeaux, ménagés en saillie sur le haut de chaque pile. Des tirants provisoires en fer soutenaient les piles contre les effets de poussée. Les voussoirs de tête, faits avons-nous dit en blocs de béton moulés, étaient amenés par le système funiculaire qui les tenait suspendus en paires équilibrées, aux deux extrémités d'un rail transversal formant palonnier. C'était ainsi les deux voussoirs correspondants à chaque tête qui étaient mis en place simultanément, et leur inclinaison de pose était obtenue par une double chaîne d'attache, dont l'un des brins était croché plus ou moins court à volonté. C'est seulement après avoir clavé les anneaux de tête qu'on coulait entre eux le béton en masse, de façon que celui-ci fût contenu et partiellement soutenu par son adhérence aux saillies des voussoirs, ce qui permettait de soulager un peu les cintres. Cette pratique tend cependant à produire des inégalités de tassement ou de pression. On a aussi remarqué qu'avec le béton les dentelures formées par les voussoirs alternativement longs et courts auraient pu être chanfreinées en redans à 45°, en vue de mieux éviter les craquelures dans le liaisonnement.

Le béton est d'un aspect peu plaisant et ne s'emploie que lorsque les transports sont trop onéreux pour de la maçonnerie de briques ou de pierre équarrie, et c'est alors un excellent substitut. A Cannington, les tranchées voisines donnaient des matériaux bons seulement pour faire du béton, après avoir subi un concassage dont les détritiques remplissaient les vides entre les pierres. La quantité de ciment ajoutée fut de 1 pour 6 de pierre dans les piles, arches et parapets, et de 1 pour 8 dans les fondations et les remplissages de tympans. Le ciment était spécifié devoir présenter une densité de 3,1 et résister à une traction de 25 kg. par cm² après 7 jours dans l'eau. En réalité les essais accusèrent une résistance moyenne de près de 40 kg.

Les ingénieurs anglais n'ont en général pas l'habitude d'indiquer dans les bétons la proportion de sable, étant admis qu'il doit être en quantité suffisante pour bien remplir les vides entre les cailloux; mais alors le volume de ciment est rapporté au volume que forment les agrégats lorsqu'ils sont mélangés. Ainsi, un béton qui comprend 4 parties de cailloux, 2 de sable et 1 de ciment, ne doit pas s'appeler du béton 6 à 1, mais 4 à 1, si le sable ne fait que remplir les vides. En somme, il est préférable de spécifier à part les trois éléments, le sable et le ciment donnant un mortier capable de complètement empâter les pierres. Dans l'ou-

vrage en considération, il fallait un béton solide, mais non nécessairement étanche, et par conséquent pas n'était besoin d'un excès de sable. Les pressions ne paraissent dépasser nulle part 6 à 7 kg. par cm², et la matière est amplement résistante, comme l'attestait la peine qu'on eut à briser quelques blocs d'essai sur le chantier et à démolir une partie d'arche pour une réparation.

Le câble formant chemin funiculaire s'étendait sur 305 m. entre deux pylônes de 18 à 22 m. de hauteur. Il se montra d'un emploi avantageux pour l'édification de viaducs de cette hauteur, remplaçant plusieurs grues pour descendre les pierres depuis le remblai au concasseur, puis exécutant tous les travaux en connexion avec le bétonnage et le cintreage. Le coût de cette installation funiculaire, compris mâts, machine motrice, chaudière de rechange et hangar, a été de Fr. 30 500. Aucune plateforme ne fut employée en dehors des coffrages, les hommes s'accoutumant à la hauteur et se tenant ou dans l'intérieur des caisses ou sur des madriers posés en travers à leur sommet. Toutefois, l'espace limité ne permit pas d'exécuter plus de 23 m³ de bétonnage par jour.

Le béton mis en place est revenu à 53 fr. le m³.

Joints de dilatation. Le béton coulé en masse est à peu près indifférent aux variations de température lorsqu'il est enterré. Par exemple, l'aqueduc de 700 m. de long sous le lac Wyrnwy, bien qu'un peu moins étanche en hiver qu'en été, ne présente aucune fissure d'un bout à l'autre et ne laisse apparaître aucun suintement sous 16 m. de pression d'eau; tandis qu'à l'air la même matière se fend sous le retrait à des intervalles de 3 à 6 m. généralement. Aussi le viaduc de Cannington présente des joints d'expansion, au nombre de quatre par arche, et qui se prolongent à travers les tympans et les parapets. Ce sont de simples joints garnis d'une pellicule de mortier de chaux faible empêchant l'adhérence du ciment. On pourrait employer d'autres matières plastiques, telles qu'une composition de bitume; mais surtout, les mouvements dus à la dilatation calorifique, aux variations hygrométriques ou aux chargements inégaux étant des mouvements angulaires, puisqu'il faut toujours que les arcs se maintiennent sous compression, il semble qu'il faut préférer le système Leibbrand, comportant l'insertion de plaques de plomb plus courtes que les joints, de manière à garantir d'épaufrure les arêtes des voussoirs, ou encore adopter de véritables rotules métalliques comme celles du pont de la Coulouvrenière, à Genève. Enregistrons en passant l'hommage rendu par M. Binnie à cet ouvrage, l'un des plus beaux dit-il qu'il ait jamais vus.

Pour terminer ce qui concerne le viaduc de Cannington, il reste à signaler un *accident* survenu au printemps de 1903, et qui retarda de quelques mois l'ouverture de la ligne. A la suite de fortes pluies, le sol de fondation étant lui-même peu solide, car les piles avaient tassé de 10 à 15 cm., le remblai détrempé s'affaissa de 0^m,45 en crevassant l'arche n° 1, attaquant légèrement la pile 1 et l'arche 2, mais sans affecter les piles 2 et 3. On remplaça immédiatement les cintres dans les arches 2 et 3, celui de la première étant encore en place, et l'on étaya. Il fut décidé, comme première étape

d'armer la 3^{me} travée de deux murs diaphragmes, évidés de voûtes de 9^m,15, comme le montre notre croquis tiré de la planche de MM. Wood-Hill et Pain, afin de la rendre capable d'agir au besoin comme un massif de culée. Ces diaphragmes furent faits, pour plus de rapidité, en maçonnerie de brique avec mortier de ciment; ils sont reliés tous les 3 m. de hauteur par des rails à bouts recourbés formant crampons. Un radier en béton incliné relie les bases des piles de cette travée, et l'on exécuta encore deux arc-boutants suivant la pente du talus du remblai, sous la travée 2, de manière à assurer la première pile contre la poussée du terrain. Cela fait, on démolit la voûte n° 1 écrasée, par pièces de 1^m,20 de largeur et sur la longueur de 5^m,50 comprise entre les joints d'expansion. On employa dans cette réfection, ainsi que dans les parements des murs-diaphragmes, de la brique à poterie de Torrington, mieux assortie à la couleur du béton que la brique rouge, qu'on ne fit entrer que dans des remplissages. Il est certain que le renforcement appliqué à l'intérieur de la troisième arche a déparé l'aspect de l'ouvrage, et il est regrettable qu'on n'ait pu s'arranger à démolir ultérieurement ces diaphragmes, une fois devenus inutiles, en conservant seulement le radier et les arcs-boutants noyés sous terre.

A l'occasion de l'accident dû au tassement d'un sol défectueux, M. Lart suggère que l'on pourrait quelquefois consolider un sous-sol de fondation perméable en y injectant sous pression un lait de ciment liquide, à l'aide de tuyaux perforés qui y seraient préalablement enfoncés. Le terrain, ainsi imprégné à bas prix, deviendrait comme une sorte de béton de fondation.

En Angleterre, on a fait peu de ponts en béton, probablement à cause des craintes de fissures. Entre Lydford et Plymouth se trouvent des viaducs faits partie en maçonnerie et partie en béton, mais sur l'embranchement d'Holsworthy à Bude, le *viaduc d'Holsworthy* a été fait entièrement en béton, avec de la pierre cassée prise sur place et du sable tiré de Plymouth et de Bideford. L'ouvrage, de même hauteur que celui de Cannington, a neuf arches de 15^m,24, mais qui sont en plein cintre, et les piles sont à fruit continu. Malgré la forme plus robuste et plus facile à construire de l'arc demi-circulaire, les piles ont été faites plus épaisses qu'à Cannington, ayant 1^m,83 à la naissance au lieu de 1^m,52. Mais la différence principale, c'est l'emploi de béton 5 à 1 non pas coulé en masse, mais employé sous forme de blocs moulés et durcis à part. C'est donc une sorte de maçonnerie artificielle, construite à l'aide d'un échafaud d'une douzaine de mètres de hauteur au-dessus du niveau de la vallée, et à 15 m. sous le niveau des rails. Sur cet échafaudage circulaient deux grues écossaises. Aucune lézarde ni aucun tassement ne s'est produit dans les arches, bien qu'elles fussent dépourvues de toute espèce de joints de dilatation, qu'on regarde en effet comme superflus avec des genres de maçonnerie à joints nombreux. M. Galbraith pense que cet emploi du béton par blocs séparés est très supérieur au béton en masse, et guère plus coûteux, son avantage étant de ne mettre en œuvre que des matériaux dûment éprouvés. Il emploie ce même système de blocs-

béton dans la construction des piles et arches d'un *viaduc sur la Tamar*, qui s'élève à 40 m. au-dessus de la rivière et a douze arches de 18^m,30 d'ouverture. Il en a fait usage aussi dans des revêtements de tunnels.

A cela, M. Pain répond que la surveillance très active exercée à Cannington a offert toutes garanties pour un parfait durcissement, et que le béton en masse permettait beaucoup plus de rapidité d'exécution et était moins exposé à souffrir du froid jusqu'au durcissement. Les blocs sont nécessairement plus coûteux, offrant davantage de surfaces de moulage, devant être empilés et séchés avant la pose, et exigeant d'y ménager des trous pour les crochets de levage. Tous les ouvrages sur le « West-Highland railway » ont été faits avec du béton en masse, et ils comprennent quatre viaducs, dont le plus grand est celui de *Glenfinnan*. Les trois moindres ont une seule arche de 38^m,70, la plus grande ouverture en béton de la Grande-Bretagne.

En Californie, M. Hawgood a exécuté toutes ses maçonneries avec du béton coulé en masse et sans y insérer aucune armature métallique. Il s'agit du railway de San Pedro, Los Angeles et Salt Lake, entre Los Angeles et Riverside. Le plus grand ouvrage est le *viaduc de Santa Ana*, sur la rivière de ce nom près de Riverside, qui comprend huit arches de 26^m,20, plus une voûte d'approche de 11^m,73 à chaque extrémité. La longueur est de 300 m., la largeur de 5^m,28, la hauteur moyenne de 22 m. Aucun tassement n'a été constaté au décintrage. Toutes les piles peuvent fonctionner comme culées. Le viaduc a été bâti en 14 mois; il l'eût été en 11 mois s'il n'y avait eu à exécuter une fondation profonde pour l'une des piles. M. Hawgood admet que la matière peut travailler pratiquement à 20 et même à 35 kg. au cm².

En Angleterre, M. Strain a exécuté nombre de ponts en pierre avec un remplissage en béton de blocage (*rubble concrete*). En 1886, dans une branche du « Callander and Oban Railway », à un viaduc sur la rivière *Dochart*, ce mode de construction ne fut employé que pour les piles; les arches sont en béton déposé *in situ*; mais des arrangements furent pris pour que chaque voûte fût terminée en une seule journée, ce qui paraît être le secret du succès dans ce mode de construction, et les matériaux, bien entendu, étant d'excellente qualité. Le même principe a été appliqué en Suisse. M. Strain est d'avis qu'au viaduc de Cannington, le *rubble concrete* parementé en moellons eût été plus économique et aussi bon que le béton coulé dans des moules.

Le croquis du *pont de Lausanne* que nous avons adressé à l'Institution est le seul exemple d'application de « ferro-concrete » qui ait été produit en opposition au béton pur pour ponts. Le peu d'empressement des ingénieurs anglais à adopter les armatures métalliques dans les arches paraît fondé d'abord sur la convenance de ne risquer des systèmes nouveaux, dans les grandes entreprises de travaux publics, qu'après une longue épreuve du temps. M. Ross constate seulement l'utilité du béton armé pour la construction de magasins solides et devant être rendus capables de résister au feu. Le fer logé dans du mortier exige que celui-ci forme une matrice imperméable à l'humidité et à l'oxygène de

l'air, autrement le métal s'oxyde, augmente de volume et peut amener l'éclatement de son enveloppe protectrice. Au surplus, dans des ouvrages où règne la compression simple, toute insertion d'acier est inutile et peut être nuisible, en ce qu'elle donne un composite hétérogène, dans lequel les éléments ne sont pas libres de travailler chacun à des taux arbitrairement fixés, mais à des taux assortis à leurs coefficients d'élasticité. Il est vrai qu'en admettant 20 pour le rapport de ces modules de l'acier au béton, on trouve que la concordance des déformations comporte l'adoption de 800 et 40 kg. par cm² pour le travail respectif de ces matériaux en compression simple, mais encore est-ce beaucoup pour le béton et peu pour de l'acier enrobé, garanti de tout flambage. Puis il reste des questions plus délicates, telles que la contraction de durcissement du béton, qui, par son adhésion, fait travailler l'armature préalablement à l'application des charges.

Si, dans les ponts métalliques, la résistance au flambage exige l'emploi d'un fort surcroît de matière en étrésillonnements, la maçonnerie par contre a la lourdeur de sa masse, l'énormité du poids mort, qui la rend haletante à lutter dans les grandes dimensions. Aussi des arches gigantesques se font toujours en métal, évitent de s'alourdir de béton, et leur calcul est d'ailleurs plus sûr que celui d'un système composite. Mais pour une construction de dimensions modérées, que l'on veut exécuter en maçonnerie de béton, l'emploi d'armatures métalliques devient utile dans le cas de flexions. Pour des poutres ou des dalles, le système Hennebique, disposé sur le principe du « bowstring », fait travailler le métal comme tirant et le béton à la compression. Mais dans une arche où les flexions éventuelles agissent tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, il faudrait des armatures sur les deux faces d'intrados et d'extrados, et il est plus simple de recourir alors au système Melan, comme l'ont fait MM. de Vallière, Simon & C^{ie}.

Ainsi donc le système n'est recommandable que pour parer aux flexions provenant soit du fait de fortes variations de charge inégalement distribuées, soit du fait d'expansion par la chaleur et par l'humidité ou d'autres causes accidentelles. La présence des arcs métalliques ayant aussi pour effet de régulariser les déjettements, les constructeurs s'en sont autorisés pour supprimer tout joint de dilatation ; ils ont seulement ménagé une coupure du tablier au-dessus de chaque pile. L'enrobage fait avec beaucoup de soin préserve le métal contre l'oxydation et le flambage et dispense d'entretoisements autres que pour maintenir les arcs pendant le bétonnage. La voûte armée aurait sans doute mieux résisté que celle de Cannington sous un glissement de la culée ; nous ne saurions affirmer toutefois qu'il n'eût pas fallu également la refaire. Le pont de Chauderon, comme on sait, a aussi eu des démêlés avec un mauvais terrain, mais on a pu s'y prendre à temps pour prévenir tout accident par des approfondissements de fondation et des armatures dans la culée Montbenon.

La comparaison des ponts de Lausanne et de Cannington nous montre que des ingénieurs anglais n'auraient pas considéré l'éventualité des flexions comme suffisante pour

motiver l'emploi du béton armé, avec l'inconvénient qu'il présente d'associer dans le travail deux matières dissemblables. C'est à l'avenir de décider entre les systèmes.

Où les armatures seront d'une utilité incontestable, c'est dans des voûtes très biaises, dans lesquelles se développent des efforts d'arrachement. Si la voûte est un monolithe de béton, des armatures convenablement disposées permettront de combattre la poussée au vide, du moment que l'on n'a plus, comme avec une maçonnerie d'appareil présentant des joints compressibles, la ressource de disposer ces joints normalement aux anneaux fictifs considérés suivant le biais, de façon à reporter dans ce sens les compressions de la voûte.

Le pont à sept arches elliptiques de 24^m,38 à 33^m,53, en construction à Dayton, Ohio, est dans le système Melan. D'après la *Railroad Gazette*, du 4 mars 1904, on y a admis pour le plus grand effort du béton (non compris le travail de température) 35 kg. par cm² en compression, 3,5 kg. en tension et 5,25 kg. en cisaillement. On posa comme condition que les arcs d'acier doux, sous un effort n'excédant pas 1265 kg. par cm², seraient capables de résister par eux seuls au plus grand moment fléchissant subi par l'arche, et que les aires des semelles ne seraient pas moindres que le $\frac{1}{150}$ de l'aire totale de l'arche à la clef.

Au pont de Chauderon, la forme surbaissée des arcs était nécessaire en prévision du remblai futur sous lequel disparaîtra une grande partie de la hauteur des piles. Le viaduc de Cannington présente aussi des arches elliptiques, bien qu'on eût pu y adopter des pleins cintres produisant sur les piles des poussées plus favorables ; mais les constructeurs ont jugé la forme en anse de panier plus gracieuse, et font observer d'ailleurs qu'elle réduisait la surface des tympans, si on la compare à l'arc de cercle de même flèche, qui aurait moins aplati le sommet de la voûte et mieux suivi la forme de la courbe des pressions.

Lausanne, août 1905.

L'architecture moderne en Allemagne.

Par M. A. LAMBERT, architecte.

(Suite)¹.

La colonie de Darmstadt a eu l'occasion en 1901 de montrer au public le résultat de ses travaux dans une exposition fort intéressante de dix-sept bâtiments, maisons particulières et édifices publics, entièrement élevés, décorés et meublés par ses membres.

Cette exposition est trop connue pour que nous insistions, elle a été publiée et décrite dans les journaux ; nous constaterons seulement qu'elle n'a pas livré des éléments nouveaux pour l'architecture, mais bien pour la décoration intérieure ; elle a surtout inauguré des effets de couleurs qui ont eu une grande influence par la suite. Une série de nouvelles créations a donné l'occasion d'une seconde expo-

¹ Voir N° du 25 août 1905, page 197.