

de Robert Maillart

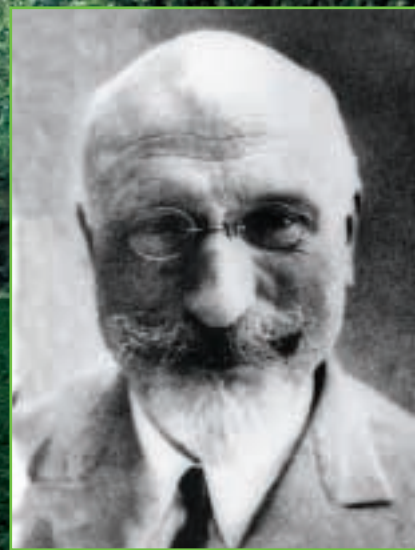


ponts, où transparaît le mieux son esprit original.

Les méthodes mathématiques occupent une place importante dans la conception moderne des ouvrages d'art : en appliquant les principes de la mécanique, les ingénieurs calculent les contraintes et les déformations des futurs édifices sous l'action des forces auxquelles ils seront soumis, tels le poids des véhicules sur un pont ou la force du vent sur un gratte-ciel. Ainsi, les ingénieurs estiment

la résistance de leurs ouvrages aux séismes ou aux ouragans. Néanmoins, ces méthodes mathématiques ont souvent entravé la créativité de nombreux ingénieurs. Trop souvent, on suppose qu'on ne doit pas construire une structure dont on ne sait pas calculer le comportement.

Le premier grand pont de Maillart réfute ce principe. En 1900, la Société *Froté et Westermann* confie à Maillart la réalisation d'un pont de 30 mètres de long au-dessus de l'Inn, dans la



Avec l'autorisation de Marie-Chaïre Blumer-Maillart

1. LE PONT DES GORGES DE SALGINA, qui enjambe un ravin de 80 mètres de profondeur, est le plus connu des ponts de Robert Maillart. Cet ouvrage élancé, qui date de 1930, se trouve en Suisse, dans le canton des Grisons.

petite ville suisse de Zuoz. La ville a demandé un pont en acier, mais Maillart propose un pont en béton armé, plus élégant, pour un coût presque identique. Ses plans prévoient un seul arc, articulé à la clé et près des culées (les blocs de béton qui s'opposent à la poussée de l'arc, aux extrémités du pont) pour limiter les contraintes de flexion. Ce projet est novateur parce qu'il intègre

en une même structure l'arc et le tablier (la chaussée du pont) ; il invente ainsi l'«arc caissonné», qui réduit considérablement les quantités de béton nécessaires à la construction du pont et, par conséquent, son coût.

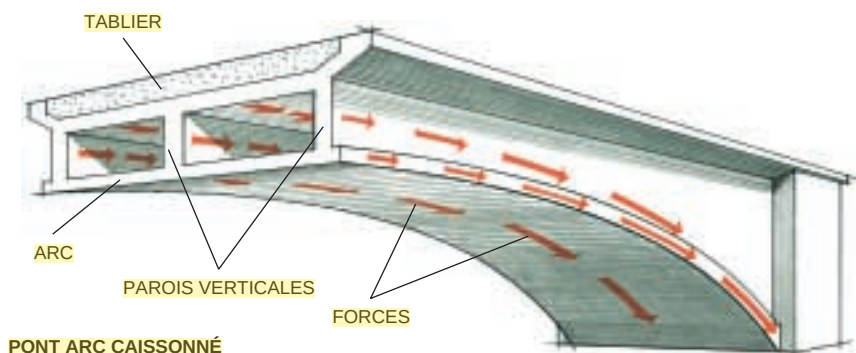
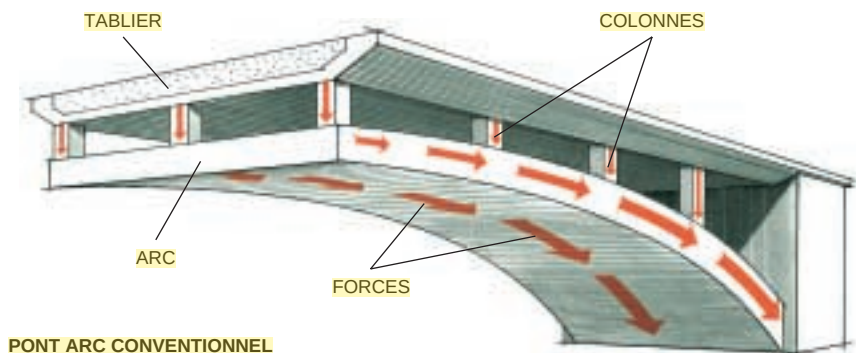
L'arc d'un pont classique supporte le poids du tablier par l'intermédiaire de piliers, qui doivent être assez solides pour résister aux contraintes de flexion

engendrées par la charge de la circulation routière. Dans l'ouvrage conçu par Maillart, le tablier routier et l'arc sont reliés par trois parois verticales qui courent sur toute la longueur du pont, formant deux caissons sous le tablier (voir la figure 2). Ainsi, la charge se répartit sur les trois faces des caissons (le tablier, l'arc et les murs d'appui) et sur presque toute la longueur du pont (aux articulations des culées, seul l'arc supporte la charge). L'arc, n'ayant pas à supporter la charge à lui seul, est trois fois moins épais que celui d'un pont classique.

Maillart évalue la faisabilité de son projet à l'aide d'une analyse graphique simplifiée : une analyse mathématique rigoureuse est impossible à l'époque, car les calculs sont trop complexes pour être effectués à la main, sans ordinateur. L'expert Wilhelm Ritter, à qui le projet est soumis, ne réussit pas à résoudre le problème mathématique que pose le pont, mais il trouve sa forme intéressante et en conseille la construction. Le pont est testé dès son achèvement, en 1901 : on mesure les déformations de la structure au passage de lourdes charrettes attelées ; malgré son mystère mathématique, le pont est une réussite.

Au cours des deux années qui suivent, les murs d'appui se fissurent près des culées : leur raccourcissement, dû à leur dessèchement progressif, est bloqué par l'arc et par le tablier, dont le dessèchement est plus lent (ils sont plus exposés à l'humidité ambiante). Pour son deuxième pont, Maillart corrige ce défaut, qui ne menace toutefois pas le pont de Zuoz.

Ce deuxième ouvrage, le pont de Tavanasa, enjambe le Rhin dans les Alpes suisses. Dans ce premier grand chef-d'œuvre, construit en 1905, Maillart évide les murs verticaux : à ces endroits, les pans de mur sont inutiles, car ils ne supportent aucune charge. Il évite ainsi la fissuration et affine la silhouette de l'ouvrage (voir la figure 3). Cette forme est bien adaptée aux contraintes internes du pont engendrées par les charges appliquées : peu épaisse à la clé et aux culées, elle est plus massive aux quarts de portée (à mi-chemin entre la clé et les culées), où la charge due à la circulation est maximale sur un pont à trois articulations. Malheureusement, le pont de Tavanasa sera détruit, en 1927, par une avalanche à laquelle aucun pont n'aurait résisté.



2. L'ARC CAISSONNÉ fut la première grande innovation de Maillart. Dans un pont classique, l'arc supporte le poids du tablier (de la chaussée) par l'intermédiaire de piliers, qui doivent être suffisamment épais pour compenser les contraintes de flexion. Dans un pont arc caissonné, des murs verticaux remplacent ces piliers. La charge se répartit sur les trois éléments du caisson : les murs verticaux, l'arc et le tablier. Maillart appliqua ce principe lors de la construction du pont de Zuoz, en 1901.

Citernes et entrepôts

Les innovations de Maillart passent d'abord inaperçues. Le pont de Tavanasa n'est guère apprécié en Suisse, où l'on préfère les copies de styles anciens, avec revêtement en pierre. Toutefois, Maillart a créé sa propre entreprise de construction en 1902 : comme il n'a pas assez de commandes de ponts, il construit des bâtiments, des réservoirs hydrauliques et d'autres structures en béton armé.

À Saint-Gall, en Suisse, il réalise les enceintes en béton de deux citernes à gaz : dans ces enceintes cylindriques, de l'eau bloque les fuites éventuelles de gaz. Il cherche un dessin qui allège l'ouvrage... et n'utilise finalement que le quart des quantités de béton prévues : comme ses ponts, ses enceintes sont affinées. Il s'inspire de la structure des tonneaux, où les douves (les lattes) sont maintenues par des cerceaux métalliques, qui compensent la pression exercée par le liquide. Afin de réduire l'épaisseur de ses enceintes, Maillart arme le béton avec des anneaux en acier, comparables aux cerceaux des tonneaux (voir la figure 7).

Maillart publie l'analyse graphique de ses enceintes en 1907 : applicable à n'importe quel réservoir cylindrique, elle évite une analyse mathématique que l'on n'obtient que cette même année et qui se révèle si complexe que les ingénieurs ne trouvent de solutions que pour quelques formes simples. Cependant, cette approche gagne progressivement du terrain dans la profession.

Lorsque Maillart étudie des bâtiments industriels, tels des entrepôts, il rencontre un autre problème technique : comment soutenir les dalles formant le plancher de chaque étage, destinées à supporter des charges particulièrement lourdes ? Dans les bâtiments classiques, les dalles (de grandes plaques en béton) sont soutenues par des poutres horizontales, elles-mêmes soutenues par des colonnes. Maillart veut éliminer les poutres, pour simplifier la structure et réduire son coût. Il sait en outre que d'autres ingénieurs ont échoué dans l'analyse mathématique du problème. Au lieu d'y perdre son temps, il réalise des maquettes de dalles en béton et il teste divers dessins dans la cour de son entreprise.

Pour son premier entrepôt à plancher-dalle (le plancher de chaque étage est formé de dalles), construit en 1910 à Zurich, Maillart imagine des colonnes

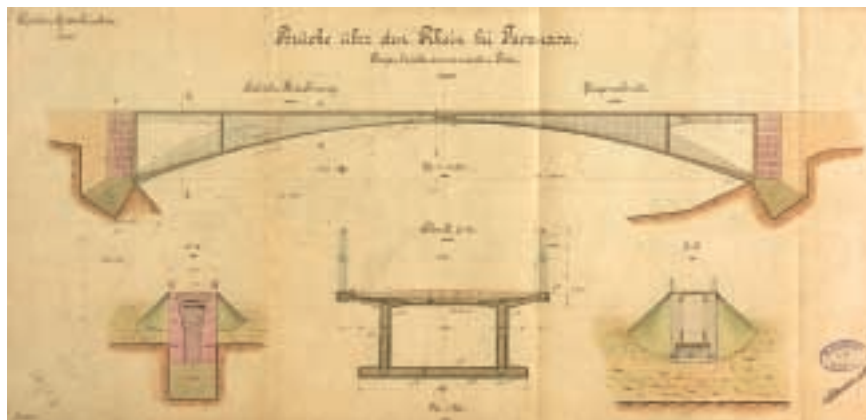
dont les chapiteaux évasés se fondent dans le plafond, c'est-à-dire dans les dalles de l'étage supérieur (voir la figure 8). Ces élégantes colonnes octogonales, avec leur profil hyperbolique, réduisent considérablement la portée libre des dalles, qui sont ainsi mieux soutenues. Maillart utilise le même type de colonnes pour l'immeuble Filter, qu'il construit en 1912, à Rorschach, en Suisse. De telles structures illustrent l'objectif que Maillart s'était fixé : réaliser des édifices à la fois élégants, fonctionnels et peu coûteux.

Un esprit libre

À partir de 1912, l'entreprise de Maillart prospère grâce à des grands projets en Russie, où l'industrialisation est naissante. Quand la Première Guerre mon-

diale éclate, Maillart et sa famille sont contraints de rester en Russie. Maillart perd toute sa fortune et évite la mort de peu pendant la révolution communiste. Il rentre en Suisse en 1919 et se remet à travailler sur des ponts en béton quelques années plus tard. Il met alors au point les arcs raidis par le tablier, dont le pont de Flienglibach, de 1923, est le plus bel exemple. L'idée lui en vient quand il cherche à prendre simultanément en compte le poids du pont lui-même et celui de la charge utile (la charge engendrée par la circulation) qui s'exercent sur l'arc d'un pont.

Un pont arc est comme un câble inversé : le câble, tendu horizontalement, se déforme quand il soutient une charge (il forme une ligne brisée), de sorte que sa tension compense le poids de la charge. De même, dans un pont,



Zürich Maillart Archive



Avec l'autorisation du canton de Graubünden

3. LES PLANS DU PONT DE TAVANASA montrent les améliorations que Maillart apporta à ses ponts arc caissonnés. Dans cet ouvrage, deux murs d'appui seulement supportent le tablier. Les pans de mur proches des culées, où la charge se répartit entre l'arc et le tablier, sont inutiles : Maillart les évita. Achévé en 1905, ce pont, qui traversait le Rhin, fut détruit par une avalanche en 1907.