

# Robert Maillart et l'invention de la dalle-champignon : monolithisme du béton armé et disparition des "éléments d'architecture"

Autor(en): **Mivelaz, Philippe**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Matières**

Band (Jahr): **6 (2003)**

PDF erstellt am: **09.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-984485>

## **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**

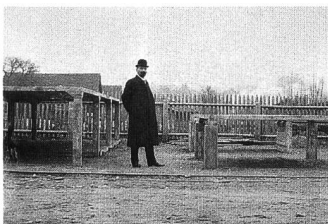
Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.



## Robert Maillart et l'invention de la dalle-champignon

Monolithisme du béton armé et disparition des "éléments d'architecture"

Philippe Mivelaz



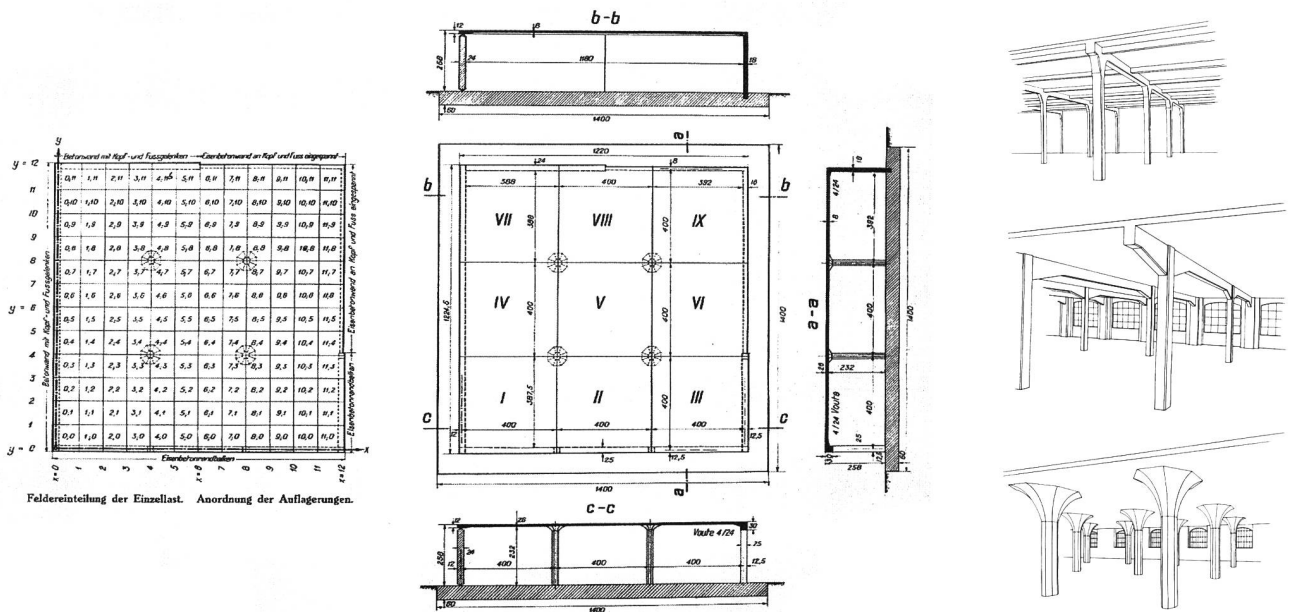
Robert Maillart sur les terrains de son entreprise où il entreprend les premiers essais de dalle-champignon en 1908.

Dix-huit ans après les premiers essais effectués au sein de son entreprise, Maillart & Cie, Robert Maillart écrit en 1926 un article sur l'une de ses inventions: la dalle-champignon ou, plus exactement, le plancher sans poutrelle. Sous le titre: «*A propos du développement du plancher sans poutrelle en Suisse et en Amérique*»<sup>1</sup>, l'article traite, par comparaison, de la manière dont son système est différent de la dalle-champignon développée par C.A.P. Turner aux Etats-Unis, dont la première réalisation date de 1906. Il y défend évidemment la supériorité de sa conception: «*Il est dès lors prévisible que le système américain à quatre directions et la conception du chapiteau-champignon développée en Amérique s'inclineront devant la manière "européenne", plus rationnelle et plus esthétique*»<sup>2</sup>. Rompant avec la façon alors traditionnelle de construire les planchers en béton armé, avec des systèmes à poutrelles ou à hourdis, la dalle-champignon présente comme un plafond lisse soutenu par des piliers qui s'évasent à leur sommet, au point d'appui. La forme de ce "chapiteau" a pour but de résister au poinçonnement, c'est-à-dire aux efforts qui tendent à provoquer des fissures du plancher autour des piliers. La liaison entre les piliers et le plancher est rigide et monolithique.

Ce qui nous intéresse ici est moins l'histoire de cette invention que le discours et l'interprétation critique que Maillart donne de la dalle-champignon. En quoi cette conception "européenne" est-elle différente de la conception américaine et en quoi est-elle plus rationnelle? Et au-delà, nous essayerons de comprendre en quoi cette invention est dans l'histoire de la construction un nouveau paradigme lié à un nouveau matériau: le béton armé. En d'autres mots: dans quelle mesure la dalle-champignon invente le béton armé, comme la ferme triangulée invente la construction en bois, par exemple?<sup>3</sup>

Mais revenons à l'article de Maillart et aux origines de sa dalle sans nervure ou dalle-champignon. Maillart en revendique la paternité dans le sens où il est le premier à avoir considéré la dalle comme un élément constructif reprenant les efforts dans toutes les directions, le premier à avoir su se libérer du système traditionnel de poutres et de poteaux. Cette constatation peut apparaître purement formelle, elle ne l'est évidemment pas pour un ingénieur qui doit encore imaginer de quelle façon on peut calculer un tel élément et dans

Page de gauche: Entrepôts de Zurich-Giesshübel (1910).



quelle mesure cela est avantageux en termes d'économie de matière, de résistance, etc. Les premières constructions en béton armé tenaient plus de constructions métalliques enrobées de béton, la principale innovation étant le monolithisme et la disparition d'un dispositif d'assemblage des poteaux et des poutres. Les éléments constructifs restaient linéaires et des éléments plans comme les dalles, les lames ou les voiles n'étaient utilisés que pour des constructions de petite taille, comme les balcons, ou les marquises. Pour calculer des éléments plans de plus grande taille, on les considérait statiquement comme l'addition de poutres mises bord à bord. Robert Maillart est convaincu que la dalle a des capacités de résistance supérieure. D'éléments linéaires, il passera à des éléments plans, des plaques. Il utilise par là la possibilité du béton de n'être pas limité dans sa mise en forme, d'être coffré, moulé au gré de la volonté du constructeur et des nécessités de l'ouvrage.

A gauche: schéma de la construction destinée à tester la dalle-champignon au sein de l'entreprise Maillart & Cie.

Ci-dessus: schémas tirés de David P. Billington, Robert Maillart, Builder, Designer and Artist, Cambridge University Press 1997: (a) Plancher Hennebique (1905); (b) Maillart, usine Pfenniger (1905); (c) Maillart, Zurich-Giesshübel (1910).

Mais les raisons qui poussent à reproduire, avec un matériau nouveau, des formes propres à un matériau plus ancien ne sont pas seulement esthétiques ou provoquées par une sorte d'inertie culturelle qui tend à perpétuer ce que les habitudes et la tradition ont fixé. Ces raisons sont aussi dues au manque de connaissance pratique et théorique du matériau nouveau. Par ailleurs, le béton armé n'est pas à proprement parler un nouveau matériau, mais l'assemblage de deux matières très différentes, le béton et l'acier, dont le mariage tient beaucoup à un hasard de la physique qui veut que leur coefficient de dilatation thermique soit identique. Cet assemblage, né d'un esprit bricoleur et inventif, permet d'associer les qualités complémentaires des deux matériaux, notamment de pallier, avec des barres d'acier, à la faible résistance du béton aux efforts de traction. Dès lors se pose la question de savoir si le béton armé appartient au domaine de la construction métallique, de la charpente ou des matériaux banchés, comme le pisé. Dans le cas précis qui nous intéresse, le plancher, nous pouvons imaginer que le composant du béton armé qui est le plus sollicité est l'acier. Il est en effet impossible de construire la couverture d'un espace avec du béton sans recourir à une voûte. Il est donc assez naturel de considérer qu'un plancher en béton armé est un plancher métallique enrobé de béton. Ceci n'est cependant pas parfaitement

exact car, dans de telles constructions, le béton participe à la résistance des poutrelles – les armatures métalliques “ne tiennent pas toutes seules” – mais, considéré du point de vue de l'expression du système constructif, nous sommes bien dans le domaine de l'ossature.

Rappelons aussi que le béton armé s'est d'abord développé, dès la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, de manière très pragmatique. Que ce soit en France avec Hennebique, ou en Allemagne avec Wayss & Freytag, le “ciment armé” est d'abord une affaire d'entrepreneurs, dont la première préoccupation est moins de développer la connaissance de la statique que d'élaborer des règles assurant une sécurité suffisante à leurs constructions. Pour Maillart, qui est alors à la fois un ingénieur et un entrepreneur, le béton armé est un nouveau matériau: «Le béton armé, bien qu'il soit l'assemblage de matériaux connus, peut être considéré comme un matériau nouveau, car ses propriétés ne peuvent être considérées comme la simple addition des propriétés de ses deux composants: il en apparaît en effet de nouvelles. La question principale a été de savoir s'il permettait d'obtenir une sécurité suffisante.»<sup>4</sup> Cette citation, tirée d'un article publié à l'époque où Maillart expérimentait son idée de dalle-champignon, résume à la fois le concept théorique qu'il met en œuvre et le problème pratique de faisabilité qui se pose alors à lui. Il cherchera l'inspiration théorique chez les ingénieurs en machine et, notamment, dans la théorie des boîtes à feu des locomotives publiée en 1878 par Grashof<sup>5</sup>. Cette théorie présentait l'inconvénient de s'appliquer à une matière homogène et isotrope satisfaisant à la loi de Hooke et à une charge uniformément répartie. Le béton armé – nous le savons – n'est ni homogène, ni isotrope, pas plus qu'il ne satisfait à la loi de Hooke, c'est-à-dire que les déformations élastiques ne sont pas proportionnelles aux efforts introduits. Le béton armé est doublement hétérogène car le béton lui-même est un mélange d'agrégats et de liant. Par ailleurs, un plancher est rarement soumis à une charge uniforme. Les sollicitations auxquelles est soumis un bâtiment sont diverses, d'intensité et de direction: poids propre de la structure, surcharges liées aux utilisateurs et aux marchandises, vent, secousses sismiques, etc.

Maillart entreprendra des essais, en 1908, sur les terrains de son entreprise à Zurich. Il mettra au point un système sophistiqué de mesure des déformations des éprouvettes construites. Les résultats obtenus lui permettront d'établir les règles nécessaires et suffisantes aux premières réalisations, tout en lui faisant faire un pas important dans la connaissance du matériau. A l'instar des autres pionniers du béton armé, Maillart & Cie déposera un brevet<sup>6</sup> inaugurant de nombreuses applications du système.

### **Les problèmes de la répartition des armatures et de la forme du champignon**

Les conceptions américaine et européenne des dalles-champignons, respectivement celles de Turner et de Maillart, se sont probablement développées indépendamment l'une de l'autre. En 1926, dans son article publié par la *Schweizerische Bauzeitung*, le propos de Maillart est moins de démontrer la faisabilité de son invention que d'en donner son interprétation théorique. A cette époque, il existe déjà de nombreuses réalisations de dalles-champignons dont la plupart sont des applications industrielles, des entrepôts, ou des réservoirs. Outre les entrepôts de Zurich-Giesshübel (1910), citons la station de filtrage du service des eaux de la ville de Saint-Gall à Rorschach (1912), les entrepôts de céréales de la Confédération à Altdorf (1912), le magasin Generali SA à Chiasso (1924), ou encore l'étonnant plancher suspendu de la fabrique de la Société suisse d'acide carbonique à Zurich (1911-1912). Dans ce dernier exemple, le plancher n'est pas soutenu par des piliers mais suspendu à des fermes à double poinçon en béton armé, laissant voir à l'étage inférieur



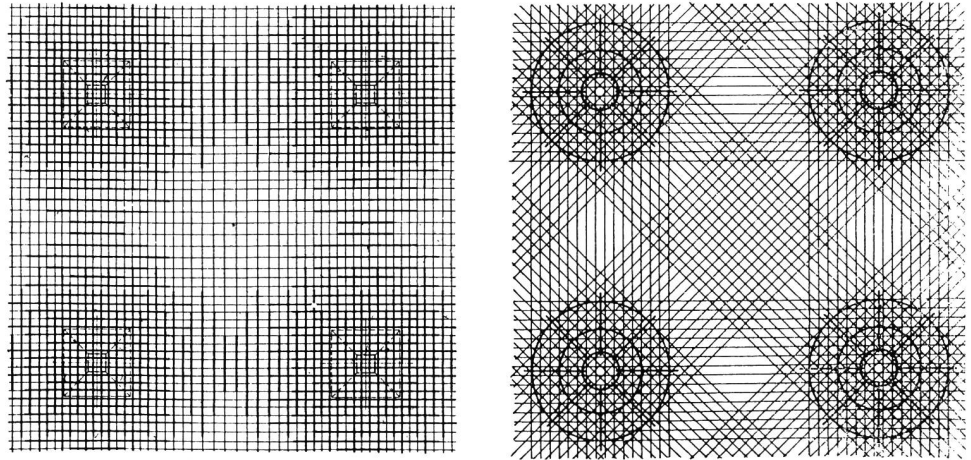
*Bâtiment de la Société suisse d'acide carbonique (1911-12). Plancher champignon "suspendu".*

des "champignons" sans colonne. Les dalles-champignons trouveront aussi des applications à l'étranger, notamment en Russie où Maillart fut actif, par exemple dans les entrepôts réfrigérants à Petrograd (1912), ou dans une fabrique pour la société Prowodnik à Riga (1914). Le système fut introduit en France en 1913 par l'entreprise G. L. Meyer de Paris, avec la construction d'une citerne à eaux ammoniacales à l'usine à Gaz de Nanterre<sup>7</sup>.

L'article de Maillart est une comparaison du système Turner et du sien, dont les conceptions diffèrent, selon lui, par deux aspects: d'une part par la disposition des armatures et d'autre part par la forme du champignon. En effet, bien plus que l'aspect extérieur lisse des planchers, c'est la disposition des fers d'armature qui caractérise l'invention de Maillart.

Disposés dans deux directions perpendiculaires (*Zweibahnensystem*), les aciers d'armatures sont répartis, de manière optimale, dans la partie supérieure de l'épaisseur, au-dessus des appuis, ou inférieure, là où la dalle tend à s'infléchir. A l'intérieur des planchers américains, par contre, les armatures sont disposées perpendiculairement et selon deux directions diagonales (*Vierbahnensystem*); de plus, des armatures circulaires sont posées autour des points d'appuis des colonnes. Chez Turner, les armatures convergent vers les piliers, ce qui démontre, selon Maillart, que l'on reste dans une conception linéaire de la structure faite de poteaux et poutres, même si ces dernières sont cachées dans la masse de la dalle. Et dans cette conception linéaire, les possibilités de résistance de la matière ne sont pas utilisées au maximum; de plus, la forte concentration des aciers à proximité des points d'appuis pose des problèmes de mise en œuvre tels que certains fers se trouvent dans la partie de l'épaisseur où les efforts sont nuls. La disposition des armatures chez Maillart évoque les fibres d'un tissu, ou d'un treillis strictement bidirectionnel, ne correspondant pas à la direction réelle ou supposée des efforts. Alors que chez Turner, les armatures semblent suivre des "lignes de forces".

Schéma des armatures dans une dalle-champignon. A gauche le système Maillart et, à droite, le système américain de C.A.P. Turner.



«Ce qui est caractéristique dans la manière de construire de Turner, c'est le passage brusque entre le chapiteau et la dalle.»<sup>8</sup> En fait, Turner construit un véritable chapiteau, alors que Maillart lie la dalle et le poteau de matière continue, traduisant à la fois la continuité de la matière et la transmission continue des forces. Dans le bâtiment de la société Innocente Mangili à Zurich-Giesshübel, qui est, en 1910, la première réalisation de ce type, le galbe du chapiteau est une hyperbole équilatère ayant pour asymptotes l'axe du poteau et le dessus du plancher. Il s'agit d'un solide d'égal résistance au cisaillement. D'autres chapiteaux seront construits selon une courbure de résistance constante à la torsion: «Dans les deux cas, il s'agit de la transmission naturelle et fluide du jeu des forces des piliers et dalles»<sup>9</sup>. Nous comprenons que la dalle-champignon est, dans son expression formelle, l'expression du "jeu des forces" plus que l'expression de la construction. Nous y reviendrons.

Les dalles-champignons se sont développées simultanément des deux côtés de l'Atlantique, selon des conceptions qui ne sont peut-être pas aussi fondamentalement différentes que Maillart le déclare: les deux conceptions font en effet appel aux lois de Grashof. La contribution de Maillart est essentiellement d'avoir considéré qu'une dalle armée dans deux directions orthogonales pouvait résister aux contraintes de torsion dans toutes les directions. Mais les méthodes de calcul des dalles se perfectionneront plus tard. L'Allemagne d'ailleurs interdira ce type de construction jusqu'à la publication par Viktor Lewe de «Die strenge Lösung des Pilzdeckenproblems»<sup>10</sup> qui rejettera les formules de Grashof et proposera une nouvelle méthode de calcul.

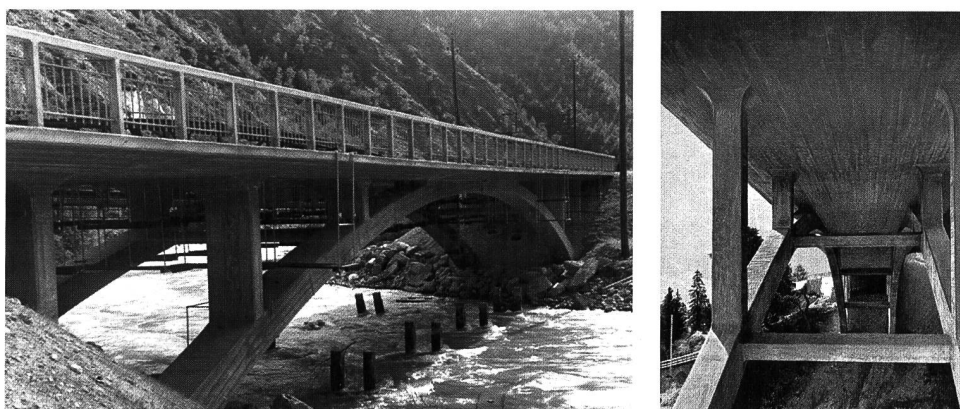
### Dalles sans sommiers et piliers-champignons



Armatures d'une dalle-champignon dans le système de C.A.P. Turner.

Nous l'avons vu, la dalle-champignon est une évolution des planchers à poutrelles et hourdis vers un élément plan travaillant comme un élément homogène. Nous pouvons aussi la considérer, à l'instar d'Alfred Pauser, comme une évolution de la dalle à caissons vers une dalle répartissant la charge<sup>11</sup>. En effet, le réseau de ses armatures correspond au réseau de poutrelles perpendiculaires de la structure en caissons. Les têtes de piliers en champignon permettent d'éviter les effets de poinçonnement, là où le croisement des poutrelles joue le même rôle dans la dalle à caissons.

Le brevet de la firme Maillart & Cie utilise le terme de plancher sans poutrelle et non pas de dalle-champignon, indiquant par là que l'élément essentiel est la "dalle" plus que le



A gauche: Alexandre Sarrasin, pont sur la Massa (1949).

Ci-contre: Alexandre Sarrasin, pont de Laxgraben (1931).

“champignon”. Autrement dit, Maillart développe le champignon à partir du plancher, selon la logique du calcul de la descente des charges et non pas à partir de la colonne dont le champignon serait un type particulier de chapiteau. Nous avons vu plus haut que, sous le champignon, la colonne pouvait disparaître lorsque le plancher est suspendu.

Une autre conception de “champignon” consiste, à partir du pilier – ou de la colonne –, en une forme s’élargissant vers le haut, comme le pavillon d’une trompette. Cette seconde conception se développant radialement à partir de son pied est fondamentalement différente de la dalle-champignon brevetée par Maillart. Le système de Turner est, avec ses armatures radiales, d’une conception ambiguë tenant à la fois du plancher sans sommier et du “pavillon de trompette”.

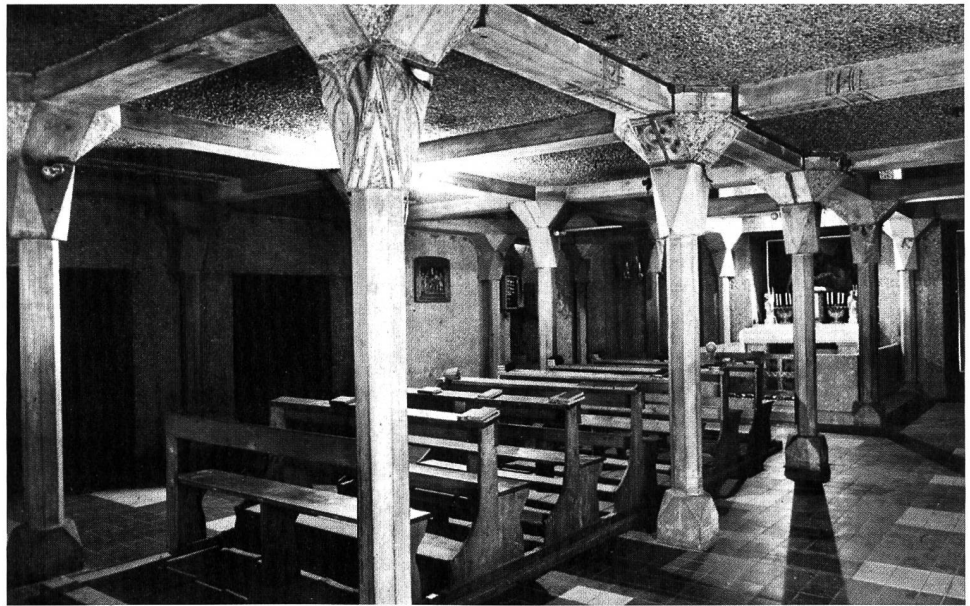
Pour illustrer ces deux variétés de champignons, prenons des exemples tirés de l’œuvre d’Alexandre Sarrasin<sup>12</sup>. Ce dernier associera, dans la construction de ponts en béton armé, des arcs jumelés à un tablier avec des piles dont les têtes sont des champignons. La première réalisation de ce type est le pont du Laxgraben (1931)<sup>13</sup>, entre Lax et Ernen en Valais. Le second exemple est la marquise du marché couvert de Vevey (1934-1935)<sup>14</sup>. Cette structure formée de deux piliers se développant en un énorme porte-à-faux crée un effet d’élévation et de suspension. Les armatures de cette construction sont en grande partie radiales, convergeant vers les piliers.

Dans l’exemple du pont, le tablier travaille comme un tirant et les efforts sont transmis aux arcs par les piles en utilisant la matière de manière optimale. Malgré l’expression de légèreté de ce tablier, renforcée par l’utilisation de garde-corps en métal qui laissent voir sa minceur, il donne l’impression d’une solidité n’ayant rien à redouter du passage de véhicules lourds. A noter que, dans cet exemple, l’épaisseur de la dalle-champignon est visible, contrairement aux réalisations industrielles précitées, hormis les cas où il y a des trémies (ce qui, soit dit en passant, n’est pas favorable à ce genre de structure). Les efforts sont répartis dans la structure formée par le tablier, les piles et les arcs de manière à former un tout. Dans le cas de la marquise, qui ne porte que son propre poids et celui éventuel de la neige, nous avons affaire à une structure “en pavillon”.

Ce détour par l’œuvre de Sarrasin tend à montrer que l’invention de la dalle-champignon tient moins dans la forme du champignon que dans l’idée de faire travailler une structure en béton armé comme un ensemble solidaire et continu, franchissant ainsi un pas supplémentaire par rapport aux structures monolithes du type Hennebique et créant une interdépendance plus forte entre le béton et le réseau d’armature en acier.



Josef Plečnik, Hl. Geist-Kirche, Vienne (1910-13), vue de la crypte.



### Expression du jeu des forces et expression de la construction

«Dans la construction en béton armé, parler d'éléments formels est, au sens strict, une contradiction. Car, contrairement au mode de construction d'autres matériaux, comme l'acier ou le bois, dont l'ensemble est composé de la combinaison de pièces séparées d'une forme prédéterminée par leur préparation industrielle, la construction en béton est caractérisée jusque dans le détail par le fait d'être un tout monolithique.» Cet extrait du livre récent de l'ingénieur Heinz Hossdorf<sup>15</sup> semble être une référence directe à Maillart par le fait qu'il oppose le caractère moulé et monolithique du béton armé à des constructions d'assemblages en bois ou en métal. Les bâtiments de Maillart utilisant la dalle-champignon semblent coulés d'une seule pièce, d'un bloc. Hossdorf fait écho à un article dans lequel Maillart compare le béton armé à la fonte: «Le béton armé ne croît pas comme le bois, il n'est pas laminé comme une poutre d'acier, il n'a pas de joints comme la maçonnerie. Au mieux se laisse-t-il comparer à la fonte, en tant que matériau coulé dans un moule, et nous pourrions peut-être tirer un enseignement de la déjà longue expérience des formes acquises au moyen de la fonte, en ce qui concerne la fluidité et la souplesse des articulations entre les divers éléments de la construction.»<sup>16</sup>



Evan Owen Williams, fabrique de produits chimiques à Beeston, Nottingham, Angleterre (1930-1932).

Comparer le béton armé avec la fonte est étonnant à plus d'un titre, car si l'on comprend l'analogie du moule, on n'a jamais vu un bâtiment en fonte coulé d'un bloc; un bâtiment en fonte est également un assemblage d'éléments préfabriqués. Maillart pense probablement à des objets de petite taille, des pièces de mécanique par exemple. Cette précision d'échelle n'est pas sans conséquence sur la fabrication du moule lui-même: si, pour un objet de petite taille, il est aisé de le construire en sable ou en plâtre, par contre le coffrage d'un bâtiment est une construction en soi. Par ailleurs, un bâtiment ne se coule pas en une fois, mais en plusieurs étapes nécessitant des raccords et des liaisons constructives.

Dans cette optique, la dalle-champignon est autant une solution technique que l'expression du monolithisme ou plus exactement, une expression de la statique. Ce que l'on entend

par statique au sens contemporain est un cas particulier de la mécanique, c'est-à-dire l'étude du jeu des forces lorsque la conséquence de celles-ci est un mouvement nul. Les bâtiments de Maillart sont comme les pièces d'une mécanique immobile. La forme même du champignon est paradoxale car le galbe du chapiteau en forme d'hyperbole équilatère est purement théorique: nous avons vu que le principe de la dalle-champignon repose sur des règles largement empiriques. Et pourtant, plutôt que de construire un chapiteau en forme de pyramide renversée par exemple, Maillart préférera utiliser des coffrages sophistiqués et coûteux pour des bâtiments utilitaires. Les champignons ont valeur de démonstration du jeu des forces.

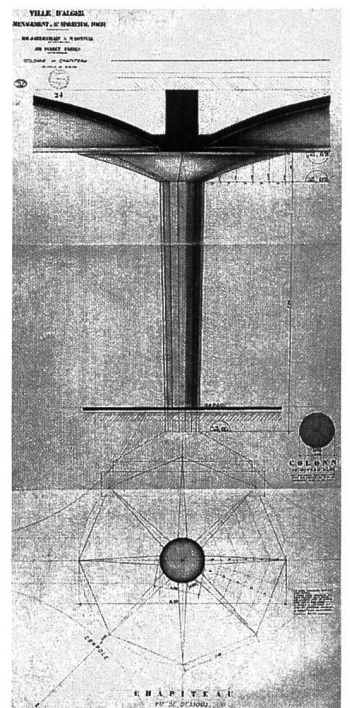
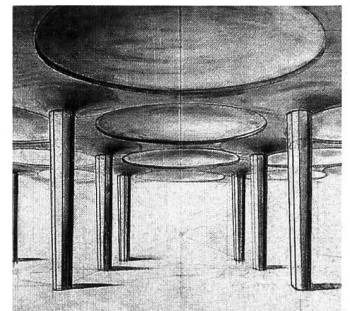
Les dalles-champignons, nous l'avons dit, seront la plupart du temps utilisées pour des constructions industrielles, soit des "bâtiments-machines". Citons les plus connues: l'usine Van Nelle à Rotterdam (1931) des architectes Johannes Andreas Brinkmann et Leendert Cornelius Van der Vlugt, dont l'ingénieur, à qui est due la solution des dalles-champignon, est Jan Gerko Wiebenga; ou encore l'usine chimique à Beeston près de Nottingham (1930-1932) d'Ewan Owen Williams. Cette dernière réalisation semble avoir été le modèle du bâtiment d'empaquetage et d'expédition de l'usine Hoffmann-La Roche (1936) à Bâle<sup>17</sup>, construit par Otto Rudolf Salvisberg. Ces exemples associent la dalle-champignon à la fenêtre en longueur, permettant d'utiliser au maximum la lumière du jour à l'intérieur des locaux de travail. Cette lumière magnifiera ces structures qui deviendront autant de symboles de la modernité, et les figures paradigmatiques d'une pensée statique de la structure – par opposition à une pensée constructive.

### Divers visages du monolithisme

Il est assez frappant de constater que la même année que la construction des entrepôts de Zurich-Giesshübel commence, à Vienne, l'édification de la Hl. Geist-Kirche (1910-1913) de l'architecte Josef Plečnik. Cette église met en œuvre de manière spectaculaire les possibilités du béton armé, notamment par ses immenses poutres de part et d'autre de la travée centrale, qui portent sans appui intermédiaire les galeries latérales. Le plafond de la crypte de l'église, terminé en 1911<sup>18</sup>, est soutenu par des colonnes dont les chapiteaux à facettes ne sont pas sans rappeler les champignons. Des sommiers, courant de colonne en colonne, délimitent des portions de dalles carrées relativement larges. Cette construction, bien que conservant des poutrelles apparentes rythmant la trame carrée de la crypte, offre une expression propre au béton armé. Les chapiteaux à facettes marquent l'encastrement des éléments verticaux et horizontaux. Remarquons aussi le traitement des surfaces carrées entre les sommiers: le béton est "lavé", laissant ainsi apparaître sa matérialité. L'architecte voulait-il montrer par là que ce plafond n'est pas un revêtement mais la structure même, et qu'une telle surface n'est possible qu'en béton armé?

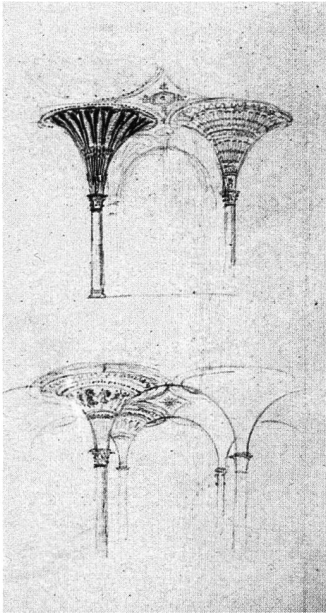
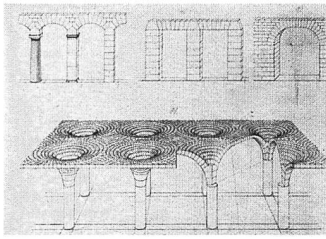
Si la dalle-champignon exprime la statique du bâtiment, elle cache la construction, sa réalisation concrète. La crypte de la Hl. Geist-Kirche montre la transition entre les piliers verticaux et le plafond, mais les facettes des chapiteaux nous permettent de reconstruire mentalement le coffrage. L'œuvre de Plečnik semble se situer à mi-chemin entre la dalle-champignon et une construction traditionnelle de plancher à poutrelles.

Par comparaison, Auguste Perret, mènera des réflexions sur le monolithisme qui conserveront aux éléments d'architecture leur identité, mais en réinterprétant leur forme selon leur rôle statique, spatial et constructif. Perret, bien que spécialiste du béton armé, semble, paradoxalement, ne pas vouloir aller aussi loin que Plečnik, restant dans une



En haut: Perret frères, Place du Maréchal-Foch, Alger (projet 1935-1941), perspective intérieure du garage.

Ci-dessus: colonne, chapiteau et coupe sur les coupoles.



En haut: Karl Friedrich Schinkel, *Das Architektonische Lehrbuch*, étude de couverture combinant des voûtes en entonnoir. Schinkel résout le problème de l'espace compris entre les entonnoirs en imaginant une structure qui combine une succession d'arcs radiaux variant du demi-cercle à l'anse de panier.

Ci-dessus: Karl Friedrich Schinkel, esquisses préparatoires pour *Das Architektonische Lehrbuch*. Etudes de voûtes "entonnoir".

conception "classique" de colonnes et de poutres. On trouve pourtant, dans l'œuvre des frères Perret, une version de "plancher-champignon" dans le projet d'aménagement de la place du Maréchal-Foch à Alger (1935-1941)<sup>19</sup>. Cette place se présente sous la forme d'une vaste plate-forme sous laquelle se trouve un garage. La structure de ce garage est formée de colonnes cannelées supportant un plafond combinant des champignons et des coupoles intercalées entre les "chapiteaux-champignons". Cette construction complexe évoque étrangement les esquisses de Karl Friedrich Schinkel pour son œuvre inachevée *Das architektonische Lehrbuch*<sup>20</sup>, qui imaginaient des structures de maçonnerie, réinterprétaient et développaient des structures gothiques. Nous sommes donc loin de la dalle sans poutrelle.

La réflexion théorique de Perret le mène à repenser la transition entre la colonne et la poutre: «Ce qui caractérise le béton armé, c'est son monolithisme. Les ingénieurs et les architectes ont donc désormais à leur disposition un système de construction où tout est solidaire; le poteau et la poutre ne font qu'un et c'est en considérant ce monolithisme qu'au théâtre des Champs-Élysées, nous avons supprimé le chapiteau qui est l'un des éléments de la construction en matériaux superposés. Il servait, à l'origine, à répartir le poids du linteau sur la colonne; il devient inutile dans un système monolithique, nous l'avons donc supprimé car, pour atteindre au style, il faut d'abord supprimer tout ce qui est superflu.»<sup>21</sup>

La colonne et la poutre sont liées par un encastrement mais restent des éléments clairement distincts. Perret ne va pas, dans sa volonté de supprimer le superflu, jusqu'à supprimer ces éléments d'architecture; il maintient le lien avec la tradition classique en conservant la mémoire de la charpente. Il privilégie les éléments linéaires dans un système constructif opposant ossature et remplissage. Pour lui, il existe les systèmes opposés que sont les structures "coques" et les structures en "charpente"<sup>22</sup>. Le second système est rationnel car il met clairement en évidence les efforts internes, alors que le premier système est plastique. Nous avons vu que Maillart n'est pas moins rationnel, mais que sa pensée est plus statique – au sens de la physique – que constructive. Perret isole et instaure un système qui à la fois identifie et met en évidence les fonctions de l'architecture – la fonction statique étant une fonction parmi d'autres. Il maintient aussi le lien avec la charpente grâce au coffrage, le moule dans lequel le béton est coulé. Maillart, au contraire, en effacera les traces pour montrer comment la structure fonctionne physiquement.

### La disparition du champignon

Dans un système monolithique comme l'est une construction avec des dalles-champignons, l'ensemble de l'édifice participe à la solidité de l'ouvrage. Maillart rend la compréhension de celle-ci, la tectonique, plus diffuse et imprécise. Seul le "champignon" donne la sensation des efforts en jeu et de la transmission du poids. Dans un bâtiment comme celui de l'usine chimique de Beeston, déjà cité, les champignons semblent exagérés, comme surdimensionnés pour sublimer la structure. Mais, a *contrario*, des causes techniques et formelles ont mené à la disparition du champignon. La principale raison technique fut le coût des coffrages, mais des contraintes esthétiques conduisirent aussi à sa transformation. Heinz Hossdorf raconte comment il passa du champignon au «non-champignon»<sup>23</sup> lors de la construction d'un immeuble commercial à Bâle – l'actuel musée d'Architecture de la Pfluggässlein (1959).

Les architectes Tibère Vadi et Max Rasser désiraient une structure la plus pure possible: des colonnes comme des fûts droits supportant un plafond lisse. Pour comprendre pourquoi

Hossdorf passa du champignon au «non-champignon», il faut imaginer comment une dalle rompt au sommet d'une colonne, lorsque la résistance au cisaillement est insuffisante. Il se détache alors de l'épaisseur de la dalle un cône renversé semblable, précisément, à un champignon. L'ingénieur bâlois invente un «Schubkorb» (panier de cisaillement), consistant en une armature circulaire solidarissant la dalle et le "champignon" qui tend à s'en détacher au sommet de la colonne. Cette dernière mutation tend à réduire les éléments architecturaux – à l'instar de la disparition du chapiteau chez Perret – à leur plus simple expression, à leur expression minimale. Mais disparaît aussi la construction, le fonctionnement statique de l'édifice.

La seconde leçon de la dalle-champignon, outre la continuité entre les éléments verticaux et les éléments horizontaux, est l'idée d'un monolithisme total: l'idée d'un édifice conçu comme un tout statiquement solidaire et la disparition des éléments formels d'architecture, pour revenir à Hossdorf. Pour illustrer une telle conception, prenons à nouveau un exemple bâlois avec l'école Volta (1996-2000) des architectes Quintus Miller et Paola Maranta<sup>24</sup>. Ce bâtiment inclut le grand volume de la salle de gymnastique, en grande partie enterré. Afin d'éviter la réalisation d'une superstructure couvrant la salle et devant porter le volume des classes, l'ingénieur Jürg Konzett imagina, avec les architectes, d'utiliser les murs de refend des travées des classes comme de grandes poutres solidaires des dalles de plancher. Comme dans les constructions de Maillart, le béton armé – ici il s'agit aussi de béton précontraint – est utilisé sous forme d'éléments plans, de "plaques". L'ensemble forme une caisse rigide, résistant d'un bloc aux sollicitations internes et externes. Il est difficile de comprendre la construction de l'école, sinon en observant les fenêtres ouvertes sur toute la largeur de la travée et le décalage des baies au rez-de-chaussée, signifiant que ces lames sont en porte-à-faux au-dessus du hall d'entrée. La façade latérale, presque aveugle, nous montre tout au plus que la structure est orientée selon une direction privilégiée, mais il n'y a pas dans cette œuvre une rhétorique de la structure ou de la construction. La construction est comme estompée pour laisser la place à une autre expérience spatiale, faite de sensations tactiles et lumineuses. La conséquence ultime des dalles sans poutrelles aura peut-être été l'effacement de la construction.



Tibère Vadi et Max Rasser, immeuble commercial à Bâle (1959).

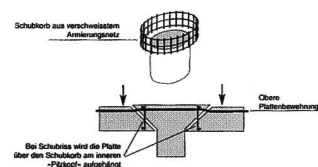


Schéma explicatif du "panier de cisaillement", tiré du livre de Heinz Hossdorf, *Das Erlebnis Ingenieur zu sein*, 2003.

#### Notes

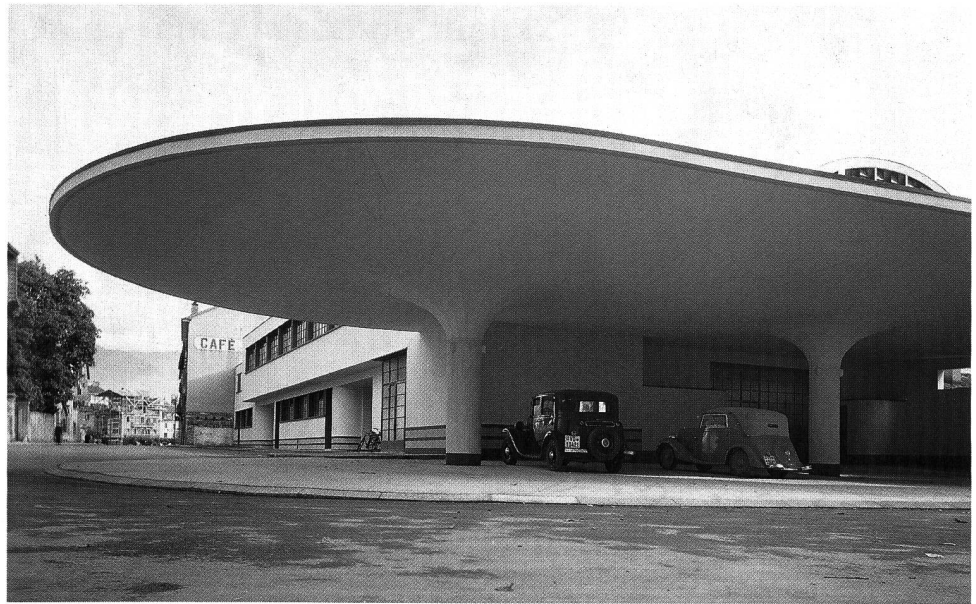
<sup>1</sup> Robert Maillart, «Zur Entwicklung der unterzuglosen Decke in der Schweiz und in Amerika», *Schweizerische Bauzeitung*, n° 21, 22 mai 1926, pp. 263-267. Les citations

de Robert Maillart sont traduites de l'allemand par l'auteur.

<sup>2</sup> Ibid., p. 265.

<sup>3</sup> La ferme triangulée n'est pas la

seule façon de construire en bois, mais elle représente un mode de construction et de conceptualisation de la structure liée au matériau et faisant système.



Sarrasin, marquise du marché couvert de Vevey.

<sup>4</sup> Robert Maillart, «Die Sicherheit der Eisenbetonbauten», *Schweizerische Bauzeitung*, n° 9, 27 février 1909, p. 119.

<sup>5</sup> Voir Arnold Moser, «Les planchers-champignons», *La Technique des travaux*, 1938, pp. 137-152. Grashof était un constructeur de machine allemand qui développa une théorie s'appliquant à des plaques chargées uniformément et soutenues ponctuellement.

<sup>6</sup> Brevet suisse n° 4698 intitulé: «Konstruktion für Raumabdeckung», déposé le 20 janvier 1920.

<sup>7</sup> Arnold Moser, «Les planchers-champignons», *op. cit.*, p. 138.

<sup>8</sup> Robert Maillart, «Zur Entwicklung der unterzuglosen Decke in der Schweiz und in Amerika», *op. cit.*, p. 265.

<sup>9</sup> *Ibid.*, p. 264.

<sup>10</sup> Peter Marti, Emil Honegger, Robert Maillart. *Betonvirtuose*, catalogue de l'exposition, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich et Gesellschaft für Ingenieurbaukunst, Zurich, 1996, p. 46. Voir aussi Viktor Lewe, *Pilzdecken und andere trägerlose Eisenbetonplatten*, 2<sup>e</sup> édition, Ernst, Berlin, 1926. Lewe fait mention des planchers américains

sans citer Maillart. L'article de Maillart est-il une réaction à cette publication?

<sup>11</sup> Alfred Pauser, «Von Balkenrost zur Lastverteilenden Platte», in *Eisenbeton 1850-1950: Idee – Versuch – Bemessung – Realisierung*, MANZ Verlag, Vienne, 1994, pp. 91-95.

<sup>12</sup> Voir Pierre Frey, Eugen Brühwiler, Alexandre Sarrasin, *structures en béton audace et invention*, Archives de la Construction moderne, PPUR, Lausanne, 2002.

<sup>13</sup> Fonds Alexandre Sarrasin, EPFL, Archives de la Construction moderne, dossier n° 1403.

<sup>14</sup> Pour le pont sur le Laxgraben et le marché couvert de Vevey, voir Max Bill, *Moderne Schweizer Architektur 1925-1945*, Werner, Bâle, 1949.

<sup>15</sup> Heinz Hossdorf, «Vom Pilz zum nicht-Pilz», *Das Erlebnis Ingenieur zu sein*, Birkhäuser, Bâle, 2003, p. 152.

<sup>16</sup> Robert Maillart, «Aktuelle Fragen des Eisenbetonbaues», *Schweizerische Bauzeitung*, n° 1, 1<sup>er</sup> janvier 1938.

<sup>17</sup> Ulrike Jehle-Schulte Strathaus, «Industrielle Repräsentation und Eleganz», in O. R. Salvisberg *Die*

*Andere Moderne*, GTA Verlag, Zurich, 1985, pp. 178-183.

<sup>18</sup> Damjan Prelovšek, *Josef Plečnik Wiener Arbeiten von 1896 bis 1914*, Editions Tusch, Vienne, 1979, pp. 145-160.

<sup>19</sup> Collectif, *Les Frères Perret, L'œuvre complète*, Institut français d'architecture, éditions Norma, Paris, 2000, pp. 346-347.

<sup>20</sup> Geord Peschken, *Das architektonische Lehrbuch* (Karl Friedrich Schinkel), Deutscher Kunstverlag, Berlin, 1979.

<sup>21</sup> Auguste Perret, «L'Architecture à l'exposition des Arts décoratifs», *Arts et Métiers*, LXXVIII, 1925, n° 62, cité dans Roberto Gargiani, *Auguste Perret*, Gallimard/Electa, Paris, 1994 (1993, édition italienne), p. 154 et note 10, p. 170.

<sup>22</sup> James Njoo, «Apparence et vérité: une rhétorique de la structure», in *Encyclopédie Perret*, Centre des monuments nationaux / Monum, Editions du patrimoine, Paris, 2002, p. 131.

<sup>23</sup> Heinz Hossdorf, «Vom Pilz zum nicht-Pilz», *op. cit.*, p. 154.

<sup>24</sup> Voir Jacques Lucan (dir.), *Matière d'art*, Birkhäuser, Bâle, 2001, pp. 104-107.