

Dipl. Ing. Maurice Koechlin und der Eiffelturm

Report

Author(s):

Koechlin, Maurice

Publication date:

1990

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000577984>

Rights / license:

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

Originally published in:

Schriftenreihe der ETH-Bibliothek 27

Schriftenreihe der ETH-Bibliothek, 27

Dipl. Ing.
Maurice Koechlin
und der
Eiffelturm

Zürich: ETH-Bibliothek 1990

Schriftenreihe der ETH-Bibliothek, 27

D i p l . I n g.
M a u r i c e K o e c h l i n
u n d d e r
E i f f e l t u r m

Zürich: ETH-Bibliothek 1990

V o r w o r t

1989 gedachte Frankreich nicht nur der Revolution, die vor 200 Jahren so folgenreich begonnen hatte, sondern auch der grossen "Exposition Universelle" von 1889, deren unübersehbares Wahrzeichen der Eiffelturm war. Wohl nicht nur zufällig kam die Idee zu diesem eisernen Riesenmonument einem Ingenieur, der unter Carl Culmann am Eidgenössischen Polytechnikum zu Zürich studiert hatte: dem Elsässer Maurice Koechlin (1856 - 1946). Die um Basel und Mulhouse verbreitete, in vielen Vertretern wirtschaftlich rührige Sippe stammte übrigens aus dem Kanton Zürich - dessen Bürgerrecht unser Ingenieur 1876 (mit dem städtischen und dem schweizerischen) "zurückerwarb".

Zwei Zeugnisse (u.a.) halten Koechlins "Erfindung" fest: ein "Premier croquis de la tour" vom 6. Juni 1884 (75:53 cm) und eine "Note de calcul et métré sommaire" (9 S., undatiert, aber wohl ziemlich gleichzeitig mit der Skizze entstanden). Diese schenkten die Nachkommen 1950 der ETH, deren Bibliothek sie heute hütet, während die Berechnung sich noch in Familienbesitz befindet. Die ETH rief diese Beziehungen in Erinnerung durch ein Ingenieurkolloquium: Am 25. Mai umriss der Historiker Professor Dr. Jean-François Bergier "L'ombre économique et sociale de la Tour Eiffel", während Professor Dr. Pierre Dubas den "Beitrag von Maurice Koechlin zur Entwicklung der Stahlbauweise" beleuchtete. Auch fanden zwei kleine einschlägige Ausstellungen statt, und im ETH-Bulletin vom Mai 1989 wies Frau Madeleine Fabre-Koechlin, eine Enkelin des Ingenieurs, auf "le premier dessin" hin.

Das vorliegende Heft fasst die gesprochenen und schriftlichen Beiträge pro memoria zusammen.

Beat Glaus

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Jean-François Bergier	
L'ombre de la Tour Eiffel	1
La Tour témoin	1
Le sens politique	4
Le signe économique	5
Le témoin social	9
L'esprit de la Tour	10
Une morale de la Tour Eiffel?	12
Gustave Eiffel (1832-1923): Kurzbiographie	14
Maurice Koechlin (1856-1946): Kurzbiographie	16
Madeleine Fabre-Koechlin	
Le premier dessin	18
Pierre Dubas	
Der Beitrag des ETH-Ingenieurs und Eiffelturm-Konstrukteurs Maurice Koechlin zur Entwicklung der Stahlbauweise	24
1. Der Beginn des Eisenbrückenbaus im 19. Jahrhundert	24
2. Die ersten Brücken der Firma G.Eiffel	25
3. Der Garabit-Viadukt bei Saint-Flour	27
4. Das Buch "Applications de la statique graphique" von M.Koechlin	30
5. Erster Entwurf für den 300-Meter-Turm	32
6. Ueberarbeitung des Entwurfes und ausgeführte Turmkonstruktion	35
7. Montage des Turmes und Schlussbemerkungen	37
Literaturangaben	39

Jean-François Bergier

L'ombre de la Tour Eiffel

La Tour témoin

Il faut beaucoup d'aplomb pour dissenter sur un monument aussi vertigineux, et aussi mémorable, que la Tour Eiffel. Et l'historien se sent devant elle comme le commun des touristes, très petit, étonné par le mystère d'équilibre que sa silhouette recèle, stupéfait par l'ingéniosité de ceux qui en conçurent le projet et par l'habileté des équipes d'ouvriers qui, en un temps record et sans accident grave, surent agencer et boulonner pareille dentelle de poutres et de traverses. Mais c'est la singularité, et sans aucun doute le privilège de l'historien que le destin a conduit à l'Ecole Polytechnique Fédérale et donc plongé dans un milieu d'ingénieurs, d'avoir à se montrer polyvalent. Et d'avoir à comprendre les structures et le sens de ces prouesses techniques qui, durablement, étonnent et fascinent le monde.

La Tour est assurément l'une de ces prouesses. La voici aujourd'hui centenaire: c'est une très vieille dame. Qui n'a cependant rien perdu de sa taille élancée, de son élégance, de sa force de séduction. Le siècle qu'elle a traversé, ou qu'elle a dominé, a été pourtant fertile en événements menaçants pour elle, ou propres à la déconsidérer. Nos goûts et nos perceptions de l'environnement construit ont évolué considérablement et se sont éloignés de l'esthétique dont témoigne la Tour. Le progrès multiforme des sciences de la construction et des matériaux utilisables a proposé à notre étonnement comme à notre commodité bien d'autres réalisations, fort différentes, plus complexes, non moins audacieuses. Mais la Tour demeure, à son âge, et dans l'esprit du public profane, une performance technique qui paraît tenir du miracle, un monument unique de symbolisme urbain. Au point que nous la croirions plus vieille encore, tant il nous est devenu difficile d'imaginer le paysage de Paris sans elle.

C'est qu'au fil des cent ans qui l'ont imposée à la vue et à la mémoire, le sens s'est peu à peu perdu que la Tour Eiffel revêtit, volontairement ou non, lors de son érection. C'est à ce sens que je voudrais m'arrêter dans ces pages, c'est à dire aux intentions avouées et aux messages cryptés que ses constructeurs, et toute leur époque, firent porter à la Tour. Laissons donc la performance technique que représente la Tour Eiffel, pour nous pencher ici sur l'ombre dont elle couvrit un univers politique, économique, social et moral dont elle fut elle-même le produit - et l'expression.

La Tour fut construite en 1889 pour constituer l'attraction majeure de l'Exposition universelle organisée sur les bords de la Seine. Cette manifestation grandiose entendait mettre en évidence la phase récente du progrès technique; elle y réussit en attirant un immense public ahuri de ce qu'il découvrait de pavillon en pavillon, notamment la Galerie des Machines (Contamin et Dutert), le plus grand hall jamais construit jusqu'alors (bâtiment hélas détruit en 1910): l'Exposition de 89 fut à tous égards celle des records! Mais elle entendait encore attirer l'attention et les visiteurs du monde entier sur la France l'année où celle-ci célébrait le premier centenaire de sa Révolution de 1789 (on sait que le projet d'une démonstration de même sorte en 1989 a dû être abandonné pour des raisons avant tout politiques: l'opposition de François Mitterand, président de la République et de son rival Jacques Chirac, Maire de Paris...). En 1889, le monument dressé au centre de l'Exposition était conçu -et fut en effet reçu- comme l'emblème d'un pays: la France y affirmait à la fois sa modernité politique, produit de la Révolution, sa qualité de grande Puissance mondiale, à laquelle elle pouvait en effet prétendre alors, et son succès de grande nation industrielle. La Tour entendait marquer d'un signe triomphal un pays, et toute une société acquise sans réserve - mais en même temps étroitement soumise - à l'idée de Progrès. Progrès dans tous les sens: celui d'une économie industrielle effectivement triomphante; celui des connaissances scientifiques et techniques que le positivisme intellectuel tenait à l'abri des doutes et des scrupules; celui des arts et des lettres, dont Paris continuait d'être la métropole. La Tour fut cet emblème du Progrès. Mais elle fut aussi acte politique, colonne porteuse de l'idée et de l'esprit républicain qu'il s'agissait encore d'imposer à la France profonde. Elle fut encore démonstration sociale, c'est à dire celle du triomphe de la bourgeoisie industrielle, commerçante et financière. La Tour, avec le recul que nous avons, apparaît bien aujourd'hui comme la signature d'un système de société, le capitalisme; et comme le témoin d'un temps si conquérant, si sûr de lui qu'on a pu l'appeler, se fiant aux apparences, la "Belle Epoque".

De sorte que cette construction spectaculaire par sa taille, son audace et sa rapidité de réalisation est loin d'avoir été une innocente performance. Démonstration d'un savoir-faire de pointe (que suggère sa forme), elle est surtout arme de combat. On sait que l'entreprise, à l'époque, ne fut pas accueillie par un concert unanime d'éloges et dans la satisfaction générale. Les jugements critiques jaillirent sous la plume d'artistes et d'écrivains renommés (Gounod, Verlaine, Maupassant et d'autres) et agitèrent divers milieux, élitaires mais de sensibilités diverses, soucieux de voir défigurée l'image culturelle de Paris. Cette construction pouvait se fonder sur le doute technologique, le rejet esthétique, la peur d'un urbanisme bouleversé. Mais les vrais critères du débat d'opinion qui eut



**Cérémonie commémorative de la Fédération de 1790, dans la
Galerie des Machines**

L'Exposition universelle de Paris, commémorative et emblématique, accueillit ses visiteurs en 1889. Mais c'est l'année suivante que fut instituée et célébrée pour la première fois la Fête nationale du 14 juillet, en écho à la grande Fête de la Fédération de 1790 (et non pas directement à la prise de la Bastille). Illustration de presse du Monde Illustré, 19 juillet 1890

lieu dans la presse, les salons, sur les boulevards, et dans les couloirs du Parlement furent de nature politique et sociale. En somme, la Tour a cristallisé dans ses poutres métalliques tensions et contradictions de sa génération.

Le sens politique

En 1889, la France en était déjà à sa Troisième République, mais celle-ci était encore à peine adolescente, et donc peu sûre d'elle. En un siècle, ce pays - et l'Europe dans son sillage - avait traversé une singulière succession de bouleversements, en contraste avec la stabilité multiséculaire de cet Ancien Régime auquel la Révolution de 1789 avait mis fin sans trop savoir par quoi le remplacer. Une succession de régimes plus ou moins éphémères: la I-ère République, 1792-1799, avec sa Terreur et ses tâtonnements constitutionnels; le Consulat, 1800-1804; le I^{er} Empire napoléonien, 1804-1814 et l'appendice des Cents-Jours en 1815; la Restauration royaliste, 1815-1830; la Monarchie de Juillet, 1830-1848; la II^e République, 1848-1852; le Second Empire, effondré dans la défaite de 1870-1871 et l'effervescence de la Commune: autant d'hésitations, de paris tantôt sur l'avenir, tantôt sur le passé, qui avaient induit une profonde mutation des institutions, de toute la société civile et de l'esprit qui les animait. L'alternance rapide de régimes tantôt autoritaires, tantôt monarchistes-parlementaires, tantôt républicains avait excité durablement les passions politiques; mais elle avait aussi créé l'incertitude sur la nature même du gouvernement et suscité le désarroi de la France profonde.

De sorte qu'au règne de Napoléon III, à la perte de l'Alsace-Lorraine, à la répression sévère de la Commune de Paris succéda une situation passablement confuse. La France hésita quelques années entre une nouvelle restauration monarchiste ou une nouvelle république. Et c'est un peu par hasard que cette dernière s'imposa, en 1873, au gré d'un vote d'un parlement provisoire, puis de lois constitutionnelles chaudement débattues. Seize ans plus tard - en 1889 - cette république surnageait tant bien que mal, mais elle était loin d'être assurée d'un avenir que des forces encore puissantes s'activaient à mettre en question. La nostalgie des fastes de la royauté, entretenue par les milieux catholiques conservateurs alarmés par le programme de laïcité des républicains, le prestige encore chaud de l'Empire (les faiblesses du Second n'ayant point effacé les grandeurs du Premier): ces sentiments ne cessent d'inspirer de larges couches de la population, dans la bourgeoisie traditionnelle et dans les campagnes. La sécurité et le bon ordre garantis par un pouvoir autoritaire mais fidèle aux traditions gardent leurs partisans. L'année même de l'Exposition et de la Tour, un projet de coup d'Etat bonapartiste échoue

de justesse, moins grâce à la vigilance des républicains que par la pusillanimité du général Boulanger, héros que les conjurés avaient choisi en raison de sa popularité pour prendre la tête de l'entreprise.

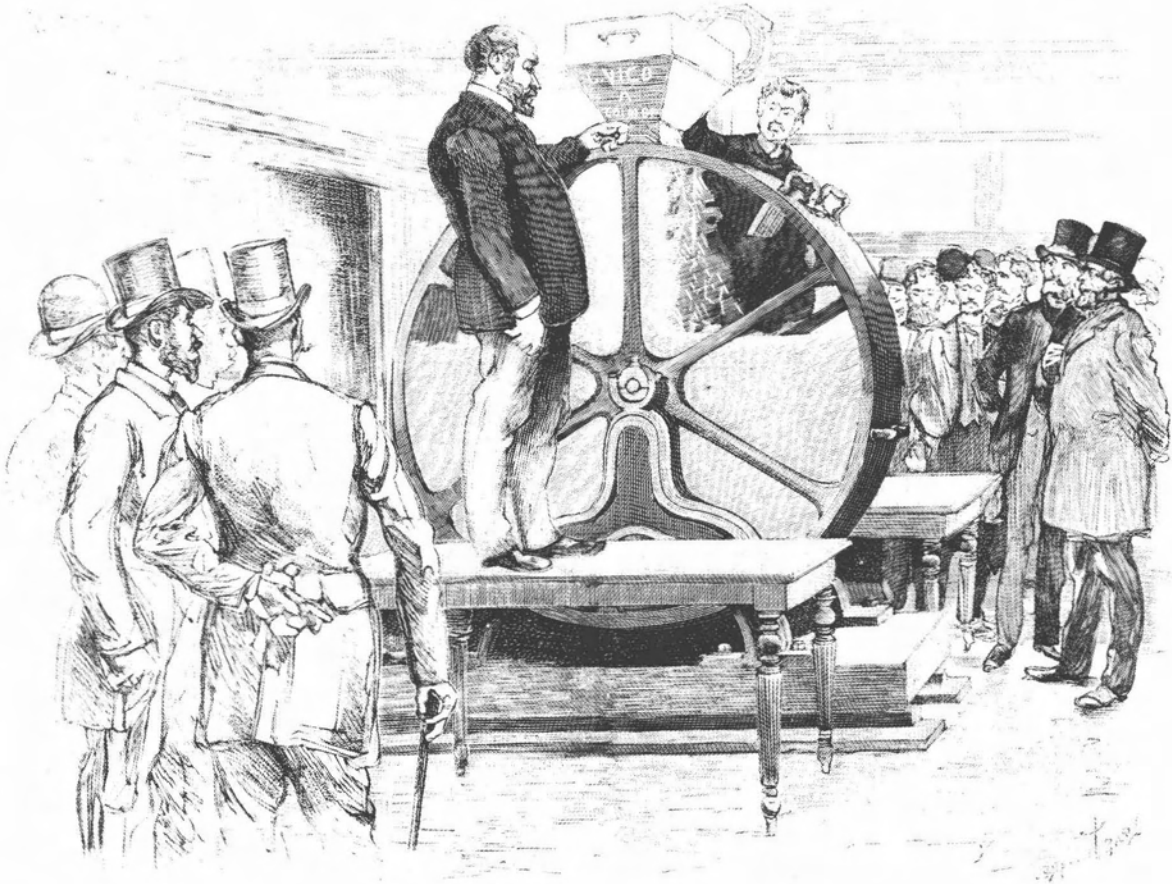
Rien n'est donc définitivement acquis, en 1889, pour cette III^e République fragile de l'échec de ses deux devancières et d'un consensus national qui lui fait encore défaut. Ses partisans momentanément au pouvoir savent qu'ils doivent tout mettre en oeuvre pour gagner ce consensus, c'est à dire pour convaincre les Français d'adhérer dans leur majorité au système politique qu'ils défendent - républicain et parlementaire (gouvernement d'assemblée), dont il n'existe alors aucun précédent viable depuis la république romaine, ni aucun autre exemple parmi les grandes nations d'Europe.

Dans cette grande bataille des esprits, le centenaire de la grande révolution devient ainsi un événement-clef, un enjeu. Il convient d'autant plus de le manipuler par une célébration spectaculaire que, justement, cette révolution semble aux uns inachevée, et aux autres une perversion de l'histoire. Aux yeux des républicains qui l'organisent, cette fête doit être le point final exclamatif (que la Tour, en effet, dessine dans le ciel de la capitale), et la proclamation des valeurs révolutionnaires. Ou plutôt, d'une de ces valeurs, que les circonstances évoquées obligent à privilégier: le principe même de la république. En quoi il y a d'ailleurs abus de l'histoire. Car l'année de référence de cet anniversaire, 1789, n'a contenu en fait aucun message républicain. Nul encore, en France, lorsque furent réunis les Etats-Généraux, prise la Bastille, ramené la Cour à Paris, n'avait songé un instant à instituer une "république": l'idée, et la réalité, naquirent des événements précipités dans les mois qui suivirent, jusqu'à l'abolition de la royauté, le 21 septembre 1892. Mais peu importa, cent ans plus tard, cette entorse à la chronologie. Il fallait célébrer le projet républicain en priorité, en reléguant à l'arrière-plan et en occultant même tout à fait l'idée, si peu actuelle dans l'Europe colonialiste de la fin du XIX^e siècle, des Droits de l'Homme (ce sera le privilège du Bicentenaire, que nous venons de vivre, que de remettre les pendules à l'heure).

La Tour Eiffel a donc été, en tout premier lieu, l'affirmation en France et à la face du monde du principe républicain.

Le signe économique

La Tour vient se dresser au-dessus d'une capitale, d'un pays, d'un continent (ou sa partie occidentale) en pleine expansion économique, et plus particulièrement en formidable développement industriel.



La mise en roue des obligations à lots de Panama, en présence des Administrateurs (Le Monde Illustré, 11 août 1888).

Cette illustration polémique évoque les difficultés financières et les remous politiques de l'entreprise du Canal de Panama aux abois. Pour attirer les souscriptions d'un emprunt des obligations à lots (primes tirées au sort) furent émises en été 1888 - sans succès: La compagnie sera mis en liquidation en février 1889, et le scandale (malversations multiples) éclata. La roue symbolise ici à la fois le monde industriel et la fortune changeante de spéculations financières.

La "Révolution industrielle", c'est à dire la phase de démarrage de la grande industrie mécanisée, concentrée et mobilisatrice d'une large force de travail, est achevée depuis une génération ou davantage, en France comme en Grande-Bretagne, en Belgique ou en Suisse. Ces pays sont entrés depuis les années 1850 (l'Angleterre dès les années 30) dans une phase de consolidation de leur économie industrielle et d'extension croissante de celle-ci à de nouveaux secteurs de production. L'industrie conquérante de la première moitié du siècle, qui luttait pour sa place au soleil, qui peinait à convaincre les investisseurs de capitaux et qui suscitait encore la méfiance des pouvoirs publics, a fait place à une industrie triomphante, qui n'est plus contestée dans son principe mais le devient dans la forme économique et sociale qu'elle a prise, celle du capitalisme industriel que dénoncent désormais les socialistes. D'abord réalisée dans les secteurs essentiels, mais particuliers, du textile (filatures de coton) et des machines, l'industrialisation a peu à peu gagné toutes les productions courantes de biens de production et de consommation. A l'heure de la Tour, elle a déjà conquis une bonne part du marché des produits alimentaires, contribuant ainsi à faire disparaître d'Europe le spectre de la famine, qui avait encore sévi terriblement en 1845 - 47; elle est en train de découvrir la chimie. Elle s'est étendue aux domaines des transports (chemins de fer, navigation à vapeur; bateaux frigorifiques; moteur à explosion qui va inaugurer l'ère de l'automobile), des télécommunications. Ses besoins croissants d'énergie l'ammènent à transformer ce secteur aussi; sans renoncer ni au charbon, ni à l'énergie hydraulique, elle adopte l'électricité; elle éclaire au gaz ses usines, les rues et les immeubles des immenses agglomérations qu'elle a contribué à faire naître. L'industrie s'impose jusque dans l'agriculture, qui se mécanise (à partir, cette fois, des plaines d'Amérique). En Europe occidentale, les années autour de 1889 marquent le début du déclin, en nombres absolus, des effectifs de la population rurale, au profit surtout du secteur industriel. En Suisse, les quelque 650'000 paysans de 1850 (environ 54% de la population active) ne sont déjà plus que 475'089 (36,4%) lors du recensement fédéral de 1888. Pareille mutation, il est vrai, est beaucoup plus lente au pays d'Eiffel: la France profonde va rester jusqu'en plein XX^e siècle la plus rurale des nations de l'Europe industrielle. Les 26,8 millions de ruraux (actifs et leur famille) en 1846, 75,6% de la population totale, sont encore 24,5 millions en 1881 (64,0%), 22 millions en 1911 (55,8%). En proportion de la population active, les agriculteurs constituent 51% en 1872, 45% en 1896. A l'inverse, la Grande Bretagne connaît le mouvement le plus précipité: 25% seulement de paysans actifs en 1851 déjà...

Ces données, à titre d'exemple, expriment la soudaine mobilité des populations (facilitée d'une part par la commodité des déplacements, d'autre part par le développement de

l'instruction publique); et en conséquence, la très forte croissance urbaine en Europe (avec ses nuances: davantage vouée par ses ressources aux industries légères ou de transformation, la Suisse n'a pas connu ce phénomène avec la même ampleur que ses partenaires).

Un pareil développement, une pareille transformation de toutes les conditions de la vie économique et sociale n'ont pas manqué de créer des difficultés ni de connaître des heurts, de traverser des crises, sectorielles ou générales. La croissance n'a pas été linéaire ni harmonieuse, mais saccadée; elle a suivi plusieurs rythmes à la fois, irréguliers et donc imprévisibles - même si après coup, les économistes ont pu définir une certaine cadence des temps de crise et en reconstituer le modèle. Il est évident que l'offre et la demande intérieures ou internationales n'ont pu s'ajuster de manière instantanée sur un marché sans cesse déséquilibré par la capacité d'achat des consommateurs et par la concurrence sans vergogne des entrepreneurs industriels et commerciaux. Les mécanismes économiques et institutionnels (législation) de contrôle et de sécurité n'étaient jamais en mesure d'anticiper sur les situations aberrantes qui se créaient (ils le sont à peine davantage aujourd'hui...). L'économie industrielle restait ainsi à la merci des crises de surproduction, des goulots d'étranglement; ou à l'inverse, des obstacles technologiques, des insuffisances de l'infrastructure, des gestions maladroitesses, de la spéculation abusive, de la corruption et ainsi de suite.

En outre, la modernisation accélérée et la multiplication d'équipements industriels de plus en plus complexes et coûteux exigea de très gros investissements. Dans la phase précédente d'industrialisation, les investissements avaient été relativement modestes et surtout rentables à court terme, un an ou deux. De sorte que les entrepreneurs avisés disposaient rapidement de capitaux frais pour développer leur affaire. Désormais, les délais de rendement s'allongent dangereusement, et les capitaux propres ne suffisent en général plus, ou ne sont pas disponibles. C'est pour résoudre cette équation que, dans les deux ou trois décennies qui précèdent l'érection de la Tour Eiffel, des instituts de crédit ont été créés un peu partout, à l'échelle nationale: ce sont les grandes banques d'affaires, qui drainent l'épargne en la rémunérant et la mettant au service des besoins de l'industrie en capitaux. Pourtant, une seule génération de ces gros administrateurs de banques n'a pas encore, en 1889, accumulé assez d'expérience ni acquis assez de sagesse et de sens du long terme. Les gains faciles de la spéculation les entraînent dans des aventures - dont les épargnants font les frais. L'ombre de la Tour couvre de sombres magouilles et son architecture est éclaboussée de scandales financiers. L'un des plus graves, dit de Panama (des millions engloutis dans un canal qui fut à peine ébauché et surtout détournés vers les poches de quel-

ques affairistes), éclate précisément pendant que la Tour est en chantier. Faute de stratégies solides, le marché financier de la fin du XIX^e siècle s'est révélé profondément instable, tandis que les monnaies ne donnaient aucun souci: l'inverse en somme d'aujourd'hui, où le marché financier est relativement ferme, mais le marché monétaire en pleine anarchie...

Des structures aussi fragiles et mouvantes ont été très sensibles aux variations à court ou moyen terme de la conjoncture économique - elle-même liée aux affrontements politiques de l'époque, en particulier la construction concurrente d'empires coloniaux en Afrique et en Asie. On pouvait craindre (ou espérer, selon le milieu social et idéologique) à chaque fois que ces structures ne fussent emportées par les crises périodiques, plus ou moins graves, qui les ébranlèrent: en 1866, 1873, 1882-84, 1890-93, etc. Dans un temps plus long, l'année de la Tour se place vers la fin d'une phase relative de dépression (1870-1893), plus sensible il est vrai dans le monde anglo-saxon qu'en Europe continentale où les industriels ont su faire preuve d'un dynamisme régulateur et d'une gestion imaginative dont l'Exposition de 1889 est précisément, en France, la manifestation.

Le témoin social

Orgueil d'une nation, symbole d'une société, la Tour en exprime aussi les contradictions et, dans son ombre, les désillusions. Car la gigantesque mutation industrielle a porté ses conséquences sur toute la société. Elle a creusé entre ses privilégiés et ses déshérités des fossés plus larges encore que ceux des sociétés pré-industrielles, et beaucoup moins tolérables: nul besoin d'insister ici sur les conditions d'existence faites aux travailleurs - salaires misérables, temps de travail démesurés, hygiène et conditions physiques du travail lamentables, et absence, dans la règle, de toute sécurité sociale. Certes, à long terme, croissance quantitative et progrès qualitatif profitent à l'ensemble de la société: on le voit à la disparition des famines et des grandes épidémies, au recul de certaines maladies (mais à la montée de la tuberculose), à l'allongement de l'espérance de vie moyenne. Mais l'individu, l'ouvrier moins encore que les autres, n'en a guère conscience. Il constate l'écart grandissant qui le sépare des autres, et il souffre, dans sa chair et dans sa dignité. Le paternalisme éclairé de quelques industriels plus sensibles a pu panser parfois les plaies matérielles de leurs salariés, mais rarement les rétablir dans leurs droits d'hommes, de femmes ou d'enfants. En somme, la société s'est vue déstabilisée par son propre progrès. Avec l'écart des revenus, la différence des niveaux et des espaces de vie (beaux quartiers distincts des quartiers ouvriers), les tensions se sont exaspérées. Elles se traduisent (surtout après 1889) par des mouvements de grèves, parfois par des violences.

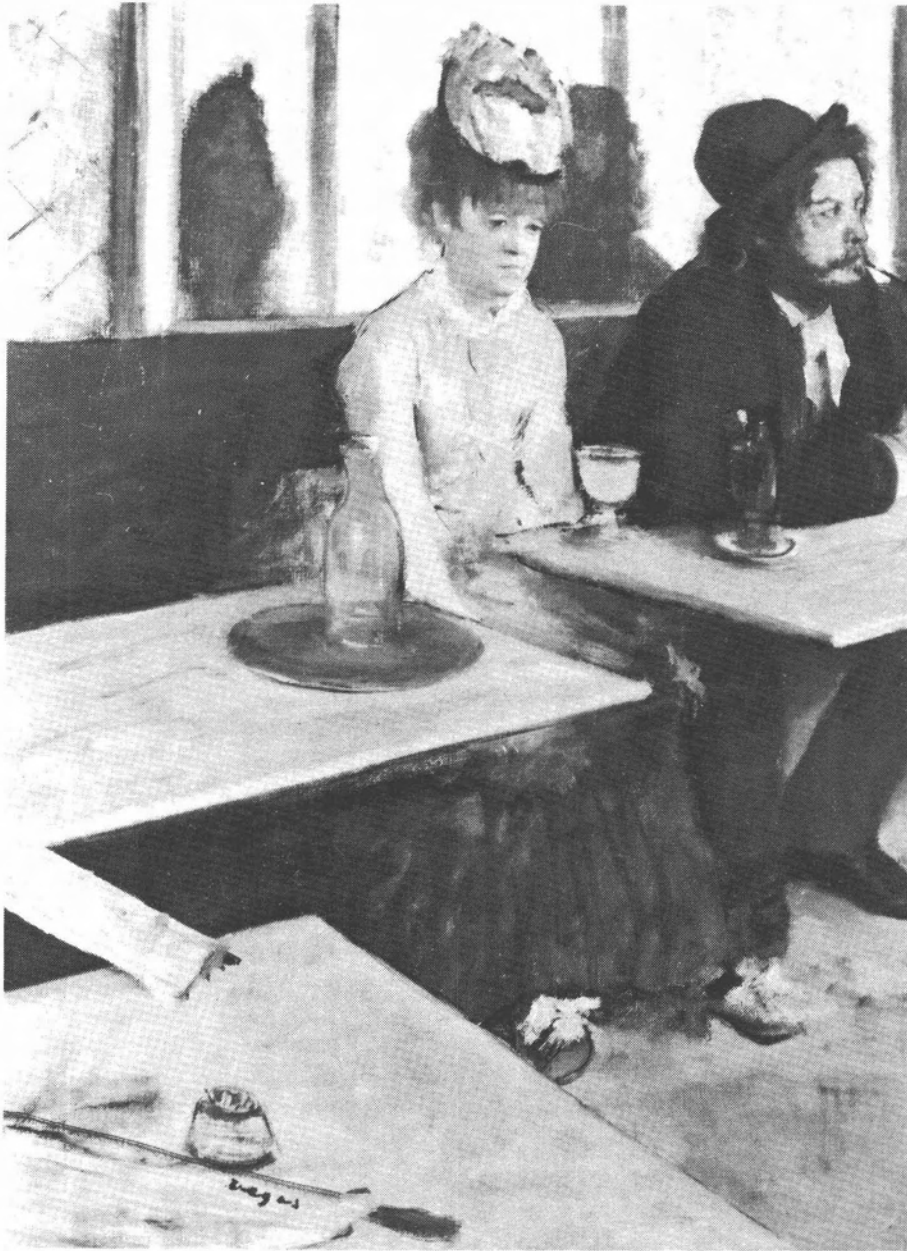
La masse ouvrière, d'ailleurs, prend -lentement- conscience de sa situation. Elle s'ouvre aux mouvements de solidarité horizontale qui se dessinent; elle reçoit favorablement les messages idéologiques qui lui sont proposés et dont une propagande adroite, souvent intelligente, simplifie et rend militantes les subtilités dialectiques: à l'ouvrier moyen, Le Capital de Marx n'est pas accessible en version originale... Les travailleurs répondent avec ardeur aux projets d'organisation syndicale et politique qui lui sont soumis par des socialismes aux teintes déjà les plus diverses, du coopératisme à l'anarchisme, du syndicalisme professionnel et de la social-démocratie au marxisme révolutionnaire...

La bourgeoisie triomphante est en même temps contestée, agressée.

L'esprit de la Tour

La Tour Eiffel est ainsi la marque de cette bourgeoisie triomphante de 1889, comme l'avait été pour celle de 1789 la forteresse de la Bastille - en sens inversé! La marque, du même coup, du capitalisme lui aussi triomphant avec quelque arrogance, auquel cette bourgeoisie s'identifie. Et encore, on l'a vue, l'étendard de l'idée républicaine, puisque celle-ci est inhérente à l'idéologie libérale et laïque de cette bourgeoisie. Le milieu qui s'est adjudgé d'abord le pouvoir économique, puis le pouvoir politique -l'un restant caduc sans l'autre-, a ses vertus: sens du devoir; goût du travail (qui n'est pas seulement celui des autres, ceux dont la force est exploitée); sens de l'épargne active (à la différence du "bas de laine" paysan); audace dans l'entreprise, à la limite du raisonnable et parfois au-delà; foi dans l'éducation, l'instruction générale et professionnelle, mais avec assez peu encore, autour de 1889, d'intérêt pour la culture et de goût artistique, qui ne vont venir qu'à la génération suivante. Ce milieu bourgeois a ses hésitations - elles imprègnent, en France, la politique du temps qui n'a ni reine Victoria ni chancelier Bismarck pour la diriger. Il a ses abus manifestes, évoqués tout à l'heure, ses erreurs, ses mesquineries, sa myopie économique et surtout sociale.

Dans la pureté même et dans l'audace de son architecture, la Tour Eiffel exprime exactement l'esprit du temps, la Belle Epoque, et du milieu de ses constructeurs. Elle en exprime le dynamisme, et aussi ce puritanisme propre à la bourgeoisie contemporaine de la proverbiale souveraine britannique. Un puritanisme dont les grands témoins littéraires de l'époque, de Dickens (un peu plus tôt) à Zola dénoncent à juste titre l'hypocrisie autant dans la vie privée qu'en affaires. Il n'en reste pas moins qu'un grand nombre de ces cadres bourgeois ont réellement vécu une



Degas, L'Absinthe, 1876

Classes laborieuses, classes dangereuses. L'alcool, particulièrement l'absinthe, exprime l'ambiguïté d'une société où contrastent le succès de quelques-uns, la misère morale et matérielle de beaucoup.

stricte rigidité morale qui fut une source du paternalisme qu'ils affichèrent non sans arrogance, et donc de leur comportement social déphasé face à la misère et à la contestation des travailleurs.

Alors que dans le monde du travail les femmes occupent une place très large, le monde patronal de l'époque est exclusivement et résolument masculin. La femme, épouse, fille ou maîtresse n'y est qu'un objet, soulignant par sa présence, son maintien, ses toilettes monumentales (en 1889, la robe à "tournure" qui par un coussinet bouffant fait jaillir l'arrière-train a remplacé l'encombrante crinoline, mais le corset étrangle la taille des dames) le prestige et le succès de son propriétaire. C'est une société "machiste" qui étale et monumentalise sa propre image: n'a-t-on pas dénoncé dès son érection le gigantesque phallus du Champ-de-Mars? Sa vie est rythmée de conquêtes économiques et de revers, de scandales - celui de Panama succède tout juste au krach de l'Union Générale (1882) et précède de peu les débuts de l'Affaire Dreyfus (1894). Elle se déroule presque publiquement - la clef du succès est d'être vu - sur le théâtre de la mondanité (d'où l'immense succès, justement, des théâtres de boulevard).

Une morale de la Tour Eiffel?

Si l'histoire de la Tour Eiffel a une morale, c'est bien de nous rappeler, et de rappeler à ceux-là surtout qui ont métier et mission de construire, que nul édifice n'est innocent. Qu'il réponde à une exigence de prestige du maître d'oeuvre ou qu'il soit banalement utilitaire, il porte témoignage par son existence même, par ses formes, par les matériaux et les techniques qu'il intègre, sur l'esprit de son temps, sur les ambitions, les contradictions, les tensions de la société qui le construit, l'habite, l'admire ou le rejette. Dans ce sens, d'ailleurs, l'histoire sociale et culturelle des monuments se répète. Des pyramides d'Egypte aux cathédrales gothiques, de Versailles aux gratte-ciels américains, de la Tour Eiffel à l'Arche de Défense et à la pyramide du Louvre, chacun de ces monuments n'est pas seulement une performance en soi, mais un témoin, le message des intentions du milieu social et mental qui l'a bâti.

L'historien est là pour décoder le message. Et donc pour souligner cette vérité et la rappeler aux bâtisseurs d'aujourd'hui: ils ne sont pas des constructeurs seulement, mais à leur tour des témoins et des créateurs de symboles. Puissent ces symboles que l'ont construira demain devenir aux yeux de nos descendants ceux d'un monde plus harmonieux.



Gustave Eiffel

Gustave Eiffel

(1832 - 1923)

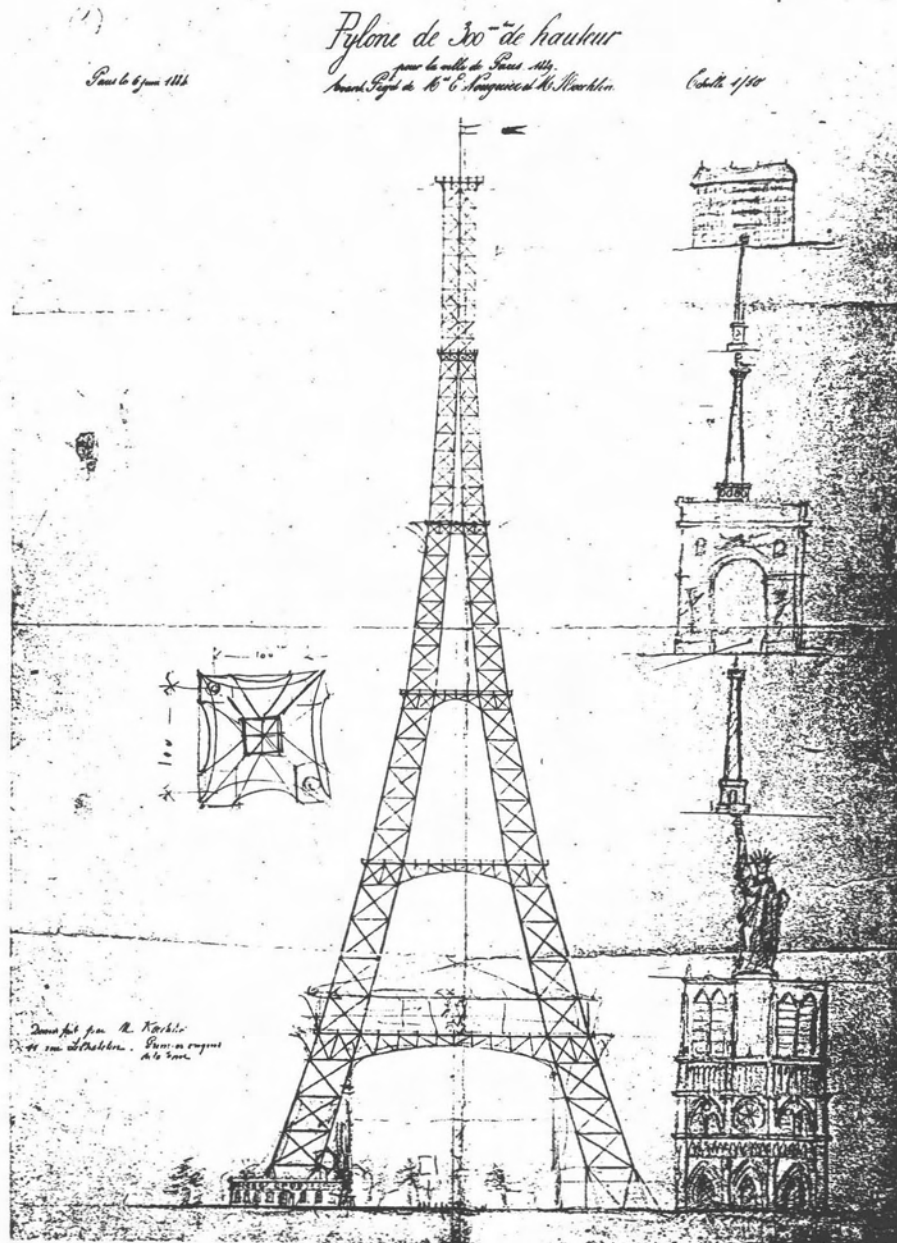
- 1832 15.12. Geboren in Dijon als Sohn eines Militärbeamten (der ursprünglich aus der Eiffel stammte)
- 1852-1855 Studium an der Ecole centrale des Arts et des Manufactures zu Paris. Abschluss als Chemieingenieur
- 1856-1864 Ingenieur bei der Compagnie des chemin de fer de l'Ouest, dann der Compagnie générale de matériel de chemin de fer
- 1860 Eiffels erster Grossbrückenbau (über die Gironde bei Bordeaux)
- 1866 Eiffel macht sich selbständig
1867 Er gründet die Société de Constructions in Levallois-Perret und realisiert in der Folge u.a. spektakuläre Eisen- und Stahlbauten:
- 1867 Galerie des Machines (Palais de l'Exposition Universelle) zu Paris
- 1876 Warenhaus "Au Bon Marché" in Paris; Brücke über den Douro bei Porto (Portugal)
- 1881 ff. Statik und Armierung der New Yorker Freiheitsstatue
- 1884 Observatorium zu Nizza
- Eiffels Mitarbeiter Maurice Koechlin skizziert die Idee einer "Tour de 300 mètres" für die Pariser Weltausstellung von 1889, die Eiffel in der Folge aufgreift und propagiert
- 1885 Garabit-Viadukt (Linie Béziers-Clermont) unter Mitwirkung Koechlins
- 1887 Der französische Staat und die Stadt Paris schliessen mit Eiffel einen Bauvertrag für den 300-m-Turm der kommenden Weltausstellung
- 1889 Der "Eiffelturm" steht und ist die Grossattraktion der Exposition Universelle
- Parallel zur Turmunternehmung arbeitet die Firma an den Schleusen des Panamakanals; doch macht die Panamagesellschaft Konkurs
- Eiffel zieht sich sukzessive aus seiner Firma zurück und widmet sich meteorologischen und aerodynamischen Studien
- 1923 27.12. Gustave Eiffel stirbt hochbetagt.



Maurice Koechlin
als "frischgebackener" Zürcher Bücher und ETH-Ingenieur

Maurice Koechlin
(1856 - 1946)
"Erfinder" des Eiffelturms

- 1856 8.3. Geboren zu Bühl im Elsass, als Sohn des Fabrikanten Jean Koechlin und der Anne Marie geb. Beuck (neben drei Schwestern und sechs Brüdern)
- 1873-1877 Studium und Diplom als Bauingenieur an der ETH Zürich (Schüler des Baustatikers Carl Culmann)
- 1876 Zürcher Bürger
- 1877-1879 Im Dienste der französischen Gesellschaft Chemin de Fer de l'Est
- 1879 Wird "Chef du bureau des études" der Konstruktionsfirma G.Eiffel in Levallois-Perret, der er lebenslang dient (seit 1900 "Administrateur-directeur", zuletzt Verwaltungsratspräsident der Firma sowie Präsident der Eiffelturmgesellschaft)
- 1884 Idee und Skizze einer "Tour de 300 mètres" für die Pariser Weltausstellung von 1889; in der Folge von G.Eiffel aufgegriffen und propagiert
- 1886 Heirat mit Emma Rossier (1867-1965; Tochter des Arztes Henri Rossier zu Vevey und der Madeleine geb. de Graffenried); drei Söhne und drei Töchter
- 1887 Vertrag Eiffels mit dem Staat und der Stadt Paris für den Bau des Turms; alsdann Ausarbeitung der Detailstudien durch Maurice Koechlin, seinen Bruder Henri und Ingenieur Emile Nougier, und Realisierung des Werks durch die Firma Eiffel
- 1903 Koechlin erhält die goldene H.Schneider-Medaille der Société des Ingénieurs Civils de France
- 1929 Ehrenmitglied der Gesellschaft Ehemaliger Polytechniker, anlässlich ihrer Pariser Generalversammlung
- 1939 Er nimmt an der Feier "50 Jahre Eiffelturm" teil
- 1946 12.6. Maurice Koechlin stirbt im 91.Lebensjahr (in dem 1900 von ihm erbauten Haus) zu Veytaux am Genfersee



Maurice Koechlin
Pylon de 300 m de hauteur pour la ville de Paris
Premier croquis de la tour, Paris le 6 juin 1884

Madeleine Fabre-Koechlin

Le premier dessin

L'ETHZ possède en ses archives, parmi les travaux de ses anciens élèves, un document précieux, qu'elle a accepté de prêter au Musée d'Orsay, à Paris, pour l'exposition qui du 16 mai au 13 août 1989, doit célébrer le centenaire de la Tour Eiffel.

Daté du 6 juin 1884, et signé par son auteur: Maurice Koechlin, c'est le tout premier projet de la célébrissime tour. Bien que la silhouette dessinée soit un peu différente de celle du monument qui domine Paris, avec cinq étages au lieu de trois, bien qu'elle s'appelle alors: "Pylône de 300 mètres", c'est bien elle, saisie au moment où elle n'est encore que le rêve vraiment fou d'un jeune ingénieur de 28 ans, l'illumination qui lui vint chez lui, à Paris, un soir de printemps.

Avec son collègue de travail, Emile Nougier, ingénieur comme lui aux Etablissements de Construction Métallique Gustave Eiffel, à Levallois-Perret, il avait discuté "de ce qu'ils pourraient faire pour donner de l'attrait" à l'exposition universelle projetée pour 1889. Et puis, rentré chez lui, rue Le Châtelier, Koechlin se met à dessiner. Mais loin de son bureau, il n'a pas sa planche à dessin ni ses instruments, ni même un vrai papier professionnel. Il attrape une grande feuille, et elle monte sous ses doigts, la "tour de mille pieds", dont ont tant rêvé des ingénieurs anglosaxons. Elle est raide et sans élégance, elle ressemble à une pile de viaduc, mais ce sera l'édifice le plus haut jamais construit. Et pour bien signifier la prouesse, il s'amuse à crayonner dans la même échelle, à droite du dessin, entassés les uns sur les autres: Notre-Dame de Paris, la Statue de la Liberté, la colonne Vendôme, l'Arc de triomphe de l'Etoile, la colonne de la Bastille, l'obélisque de la Concorde et un immeuble de 9 étages. Dessiner est pour lui, depuis son enfance, un geste naturel. Il a le don de croquer son entourage, en mouvement, à très petits traits humoristiques, en de vraies petites bandes-dessinées.

Mais ce soir-là, son esprit ne s'attarde pas à l'humour. La tour de 300 mètres, on peut bien l'imaginer, mais peut-on la faire? Et par quelle technique?

Maurice Koechlin est ingénieur, il est l'élève de Carl Culmann, le grand professeur de l'ETH, spécialiste des constructions et des chemins de fer, l'inventeur de la Statique Graphique. C'est sur la recommandation de ce maître que, après plusieurs autres de ses anciens élèves, Koechlin est entré chez Eiffel au moment où l'on calculait l'arc du prestigieux viaduc de Garabit, en 1879. Il a apporté à la

conception de l'ouvrage, un nouveau type de "poutre-caisson" à membrure tridimensionnelle, qui a permis son achèvement, tout récent, le 24 avril 1884. Il ne cesse d'en approfondir les ressources, et prépare une publication: "Applications de la Statique Graphique" (première édition 1889), qui demeurera l'un des ouvrages de référence de la construction métallique.

Pour la Tour, les problèmes techniques sont analogues à ceux des piles de pont. C'est la hauteur et la résistance au vent. Le vent, qui dans la nuit du 26 au 27 janvier de cette même année 84, a entraîné la chute du viaduc de la Tarde, seul échec d'Eiffel, mais aussi défi pour lui et ses ingénieurs.

M. Koechlin commence ses calculs, dont la première note nous est restée: "Note de calcul et métré sommaire". La note comprend "la détermination des surfaces offertes au vent, la résistance aux charges, et enfin la détermination des poids, tous ces éléments étant fonctions les uns des autres et les calculs devant être tous menés de front". Plus tard, dans un article qui paraîtra dans la "Bauzeitung" du 22 juin 1889, il expliquera toute cette technique, par des calculs de "résistance de stabilité et de déformation".

Ces calculs, il ne les achève pas en une nuit d'inspiration. Mais quand, sans doute dès le lendemain, il soumit à Nougier son dessin et sa note de calcul, il est sûr que le jeune inventeur croyait son projet viable. L'ingénieur Emil Nougier, né en 1840, et depuis 1876 chargé chez Eiffel de la direction des études techniques, de la direction des chantiers, et spécialiste en montages, - Koechlin étant lui-même chef du Bureau des Etudes -, est un homme d'expérience, de compétence et de renom. Il n'aurait pas cautionné le projet en y mettant son nom, s'il n'y avait pas reconnu le fruit d'études communes, et s'il n'y avait pas cru, lui aussi. Son appui et son conseil étaient bien nécessaires, car en ce 6 juin 1884, véritable jour de naissance de la Tour, ses chances d'aboutir étaient minimes. Et jusqu'au 31 mars 1889 où l'équipe Eiffel gravit à pied l'escalier (les ascenseurs ne fonctionnant pas encore) pour planter au sommet de la Tour enfin achevée le drapeau triomphal, le projet avait devant lui un long parcours d'obstacles.

Il fallait d'abord entraîner le patron qui, à première vue, ne fut pas convaincu. Dans le "Résumé historique de l'origine de la Tour Eiffel" que M.Koechlin rédigea de sa main en 1939, pour accompagner le premier dessin, - sorti pour la première fois de ses archives personnelles, à l'exposition du cinquantenaire de la Tour, il écrit: "Cet avant-projet fut soumis à M.Eiffel qui déclara n'avoir pas l'intention de s'y intéresser, mais qui toutefois donna l'autorisation à ses ingénieurs d'en poursuivre l'étude". Une telle réaction de la part d'Eiffel paraît aujourd'hui surprenante. Elle est à vrai dire, replacée dans les circonstances de l'époque, tout à fait explicable.

Le gouvernement français souhaitait par l'exposition universelle de 89, commémorer la Révolution, mais surtout célébrer l'immense progrès technique de "l'ère des ingénieurs". Eiffel qui a déjà pris une part active aux expositions précédentes, celle de 1867 et de 1878, demande à ses ingénieurs de chercher des idées pour une porte monumentale. Mais ce que lui proposent Koechlin et Nougier, ce pylône en fer boulonné, ne ressemble à rien de ce qu'il attendait. Lui qui a construit tant d'édifices utilitaires, ponts, viaducs, gares, usines à gaz, barrages, écluses, magasins, banques, lycées et même églises, devra-t-il mobiliser ses ingénieurs, tout son personnel qualifié, sa matière première, son potentiel mécanique et d'énormes capitaux pour réaliser une structure de pure décoration, provisoire et inconnus, car on n'était encore jamais monté si haut. Il possède tous les dons qui font le grand entrepreneur: la compétence technique, le sens des affaires et de la gestion, la ténacité, la prévoyance, le flair, la chance dans le choix de ses collaborateurs et de ses connexions politiques, et sa posture financière est excellente. Mais devant ce projet tout d'abord, le logisticien en lui se dérobe.

Et pourquoi le lui reprocher? En ce mois de juin 1884 plus lui que les auteurs du projet, personne ne pouvait imaginer ce qu'allait devenir la Tour: le sigle du siècle, l'emblème de Paris.

Rejeté tel qu'il est, le projet garde une chance, et ses auteurs ne se découragent pas. Mais leur structure est laide, elle a besoin du coup d'oeil d'un architecte. Stephen Sauvestre, ami et collaborateur d'Eiffel est consulté. "Il habilla notre pylône. Il dessina un arceau complet, changea un peu la forme primitive, à laquelle il fallut revenir, car elle était le résultat de nos calculs quant à la poussée du vent", dit Koechlin dans une interview de 1939.

Ces calculs, c'est Koechlin qui s'en charge. Il travaille depuis longtemps sur les poutres à treillis, et prépare un article qui paraîtra dans la "Bauzeitung", dès le 1 novembre 1884: "Efforts engendrés par les moments fléchissants dans les barres de treillis et les montants des poutres à treillis multiple". Son nouveau système de piles sans entretoisements et à arêtes courbes avait permis de finir Garabit. Pour la Tour il conçoit avec Nougier une "disposition nouvelle permettant de supprimer les treillis dans les faces des piles et pylônes métalliques en donnant aux montants une courbure telle que les tangentes à ces montants sont les mêmes que l'inclinaison de la résultante des actions dues au vent et au poids mort de la structure".

Sous la technicité de ces termes se cache le secret de la Tour, pour lequel est pris par eux le 18 septembre 1884 un brevet d'invention: "Disposition nouvelle permettant de construire des piles et des pylônes métalliques d'une hauteur pouvant dépasser 300 m".

De juin à septembre, le projet a bien progressé. Dressé par Sauvestre, protégé par son brevet et accompagné de ses calculs il est montrable et réalisable. Il sera exposé au Palais de l'Industrie, à l'exposition annuelle des Arts Décoratifs et singé: Nouguié, Koechlin, Sauvestre. Mais il manque toujours la caution d'Eiffel. Une dernière tentative est faite auprès de lui, il accepte de le revoir chez Sauvestre et il donne son aval. "Il mit son nom de constructeur sous celui de ses ingénieurs" (Résumé historique). L'exposition s'ouvre le 27 septembre, et le projet est fort remarqué.

Comment s'explique ce revirement? En trois mois, rien n'a changé. Eiffel croit-il maintenant que la Tour sera une bonne affaire, porteuse de gloire et d'argent? Lui-même ne s'en est pas expliqué, et l'épisode semble s'être effacé de sa mémoire. En tout cas, à partir du moment où il fait sien le projet de la Tour, il va faire, comme dit Koechlin, "tout le nécessaire pour le faire adopter et réaliser". Et surtout, il ne va pas cesser de le justifier par des raisons scientifiques. Eiffel a compris, - ce qui n'était peut-être pas l'optique de Nouguié et Koechlin séduits plutôt par la prouesse technique -, que la Tour pouvait devenir, ainsi qu'il l'a souvent formulé: "un observatoire et un laboratoire".

Quand on se rappelle que, retiré des affaires après l'échec de Panama, Eiffel consacra les trente dernières années de la vie à des expérimentations, menées pour la plupart, à partir de la Tour, dans les trois domaines pionniers de la météorologie, de l'aérodynamique et de la radio-électricité, on est fondé à penser que c'est la conviction d'une vocation scientifique de la Tour qui s'imposa à lui en cet été 1884 et lui permit par la suite, de la sauver de la démolition.

En décembre 1884 il passe avec Nouguié et Koechlin un contrat où ils lui cèdent la propriété exclusive de leur brevet. "Au cas où il obtiendrait la construction d'une Tour qui aurait pour origine leur avant-projet, ils recevraient des primes de 1% sur le total des sommes payées." Et Eiffel s'engageait à "citer toujours les noms de MM. Nouguié et Koechlin chaque fois qu'il y aura lieu de mentionner soit le brevet, soit l'avant-projet". Ce contrat, fort prévoyant, puisque la décision de confier la Tour à Eiffel ne fut prise que deux ans plus tard, fut respecté.

Et la Tour devint leur Tour. L'histoire en est bien connue. L'aventure de la Tour, c'est celle d'une équipe d'hommes qui travaillèrent dans l'enthousiasme, parce qu'ils avaient en commun la passion du progrès.

En 1939, au moment du cinquantenaire, Maurice Koechlin, homme d'une modestie et d'une simplicité bibliques, sortit de l'ombre et pour la première fois exposa ses archives et reçut les journalistes. La Tour, désormais, pensait-il,

appartenait à l'Histoire. Le premier dessin que ses petits-enfants avaient toujours vu encadré chez lui au-dessus de son bureau, fut enfin montré au public et une carte postale de l'exposition du cinquantenaire le reproduisit, avec la mention: avant-projet de la Tour Eiffel imaginé par M. Maurice Koechlin. Cette carte, aujourd'hui, n'est plus connue sur la Tour, devenue un "one man show", entièrement consacrée à la gloire du seul Eiffel, et où le générique de cette oeuvre d'équipe est quelque peu oublié.

Mais à Zurich, à l'ETH à laquelle la famille de M.Koechlin a confié le premier dessin, on se souvient du jeune homme inspiré qui, d'Alsace, était venu s'y former. On sait, et on fera savoir, que le 6 juin 1889 la Tour Eiffel aura en fait, non pas 100, mais 105 ans.



Maurice Koechlin zur "Eiffelturmzeit"

Der Beitrag des ETH-Ingenieurs und Eiffelturm-Konstrukteurs Maurice Koechlin zur Entwicklung der Stahlbauweise

Prof. Dr. Pierre Dubas, Baustatik und Stahlbau, ETH-Hönggerberg

1. Der Beginn des Eisenbrückenbaues im 19. Jahrhundert

In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurden bekanntlich die ersten Eisenbahnlinien gebaut, zuerst in England, anschliessend auf dem europäischen Kontinent. Wegen der beschränkten, in Promillen ausgedrückten Neigungen und der grossen erforderlichen Krümmungsradien ergeben sich, im Vergleich zu den damals üblichen Landstrassen, bei der Trassierung von Eisenbahnstrecken zahlreiche, teilweise weitgespannte Brücken.

Anfänglich wurden auch bei grösseren Spannweiten Vollwandlösungen bevorzugt. Als berühmtes Beispiel sei die von Robert Stephenson auf der Strecke Chester-Holyhead zwischen 1846 und 1849 gebaute Britanniabrücke erwähnt, eine durchlaufende Konstruktion mit Öffnungen von 142 m Spannweite (Clark and Stephenson, 1850). Sie wurde leider bei einem Brand beschädigt und ist in anderer Form ersetzt worden. Dagegen besteht auf der gleichen Strecke heute noch die ähnlich konzipierte Conway-Bridge, ein einfach gelagerter Träger von 122 m Spannweite. Im Bild 1 ist links die von Telford erbaute Kettenhängebrücke ersichtlich; in deren Fortsetzung liegt die Menai-Strassenhängebrücke vom gleichen Ingenieur, mit ihren 175 m die erste grosse Hängebrücke. Rechts sieht man die Röhrenbrücke von Stephenson für die Eisenbahn, mit ihren zellenförmigen Gurten und den in engen Abständen querversteiften Stegen.

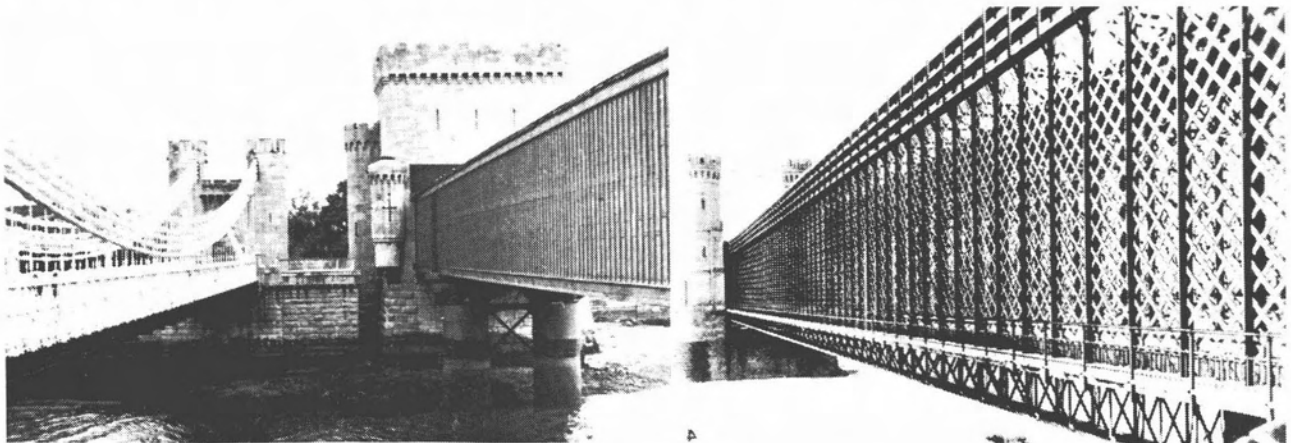


Bild 1: Strassenbrücke und Eisenbahnbrücke beim Conway-Castle

Bild 2: Erste Eisenbahnbrücke über die Weichsel bei Dirschau

Vollwandkonstruktionen dieser Art wurden anschliessend nur in kleiner Zahl gebaut, z.B. in Frankreich die Tarnbrücke Moissac, eine durchlaufende Röhrenbrücke mit rund 70 m Spannweite, und die Garonnebrücke Langon, eine zweispurige Eisenbahnbrücke mit zwei 5,5 m hohen, 77 m weitgespannten Vollwandträgern. Auch in der Schweiz fanden sich ähnliche Konstruktionen, z.B. die Brücke über die Paudèze bei Lausanne mit einer Hauptöffnung von 48 m. Vielleicht wurde anfänglich diese Konstruktionsart in den französischsprachigen Ländern deshalb bevorzugt, weil die von Navier einige Jahrzehnte vorher entwickelte Biegelehre direkt angewendet werden konnte. Allerdings waren damals theoretische Lösungen für die bei

Vollwandträgern sehr wichtigen Beulprobleme noch unbekannt, so dass z.B. für die Britannia- und Conway-Brücken das Problem experimentell gelöst wurde (Fairbairn, 1849).

Zudem waren bei der Herstellung und insbesondere bei der Montage grosse Schwierigkeiten zu meistern. Nicht zuletzt aus diesem Grunde wählte schliesslich Lentze, nachdem er nach einer Besichtigung der im Bau befindlichen Britanniabrücke die ursprüngliche Idee einer Hängebrücke fallengelassen hatte, für die 1857 auf der Strecke Berlin-Königsberg in Betrieb gesetzte Weichselbrücke Dirschau mit ihren 131 m grossen Öffnungen das im Bild 2 gezeigte engmaschige Gitterfachwerk (Mehrtens, 1889). Die konstruktive Ausbildung zeigt aber offensichtliche Ähnlichkeiten mit der vorher gezeigten Conway-Brücke: auch hier ist der Steg durch enge Quersteifen gestützt. Der Hauptunterschied besteht darin, dass die Stehbleche durch sich kreuzende Flacheisen ersetzt sind, die etwa in Richtung der querkraftbedingten Hauptspannungen angeordnet sind.

Die Berechnung erfolgte grundsätzlich wie bei einem der in den Vereinigten Staaten entwickelten hölzernen Townschen Lattenträger (in der Schweiz z.B. die soeben renovierte Brücke über die Engelberger Aa bei Buochs), d.h. die Gurtungen haben das Gesamtmoment aufzunehmen, während der gitterartige Brettersteg die Querkraft übernimmt. Man sagt, dass Culmann von der Dirschauer Gitterbrücke wenig begeistert war und eine weitmaschige Ausfachung bevorzugt hätte.

In der Schweiz stellte der Grandfey-Viadukt über die Saane bei Freiburg, 1858–1862 nach Plänen des französischen Ingenieurs Nordling von der Firma Schneider Le Creusot gebaut, die bekannteste Anwendung der Gitterfachwerke mit vielfachem Strebenzug dar (Stüssi, 1948). Allerdings wurden hier die Druckelemente der 4 m hohen Stege mit einer gewissen Steifigkeit ausgebildet, so dass eine enge Querversteifung nicht mehr erforderlich war. Bild 3 zeigt schematisch den vom Ingenieur Mathieu geleiteten Montagevorgang dieser 49 m weit gespannten durchlaufenden Brücke mit gusseisernen Pfeilern. Der Überbau wurde in Etappen längs eingeschoben, ein Verfahren, das bekanntlich beim Bau zahlreicher moderner Verbundbrücken in der Schweiz eine neue Blüte erfahren hat. Interessant ist zu notieren, dass bei der Montage der 43 m hohen eisernen Pfeiler der auskragende Überbau für die Materialzufuhr und die Kranunterstützung benützt worden ist. Man bemerke auch die verstärkende Überspannung der Vorbauspitze sowie die unterspannte Verbindung der Pfeilerköpfe mit dem Widerlager, um die Reibungskräfte beim Einschieben möglichst ohne Pfeilerbiegung abzuleiten.

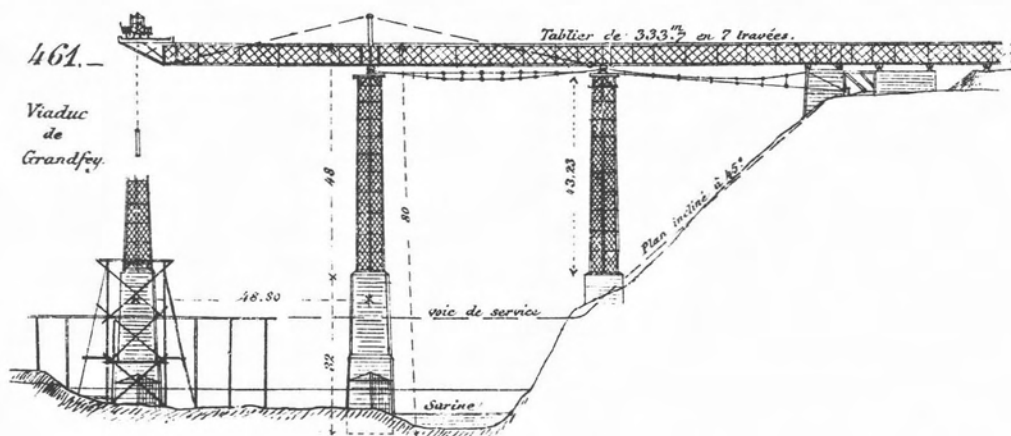


Bild 3: Montagvorgang beim Grandfey-Viadukt (Gaudard, 1902)

2. Die ersten Brücken der Firma G. Eiffel

Der bereits erwähnte Nordling, Oberingenieur der *Compagnie d'Orléans*, hat auch die ähnlich wie der Grandfey-Viadukt konzipierten, in den Jahren 1868–1869 gebauten Viadukte der Linie Commeny-Gannat an der nördlichen Umfassung des Massif Central entworfen (vgl. z.B.

Buchmann, 1988). Hier treffen wir zum erstenmal den Namen Gustave Eiffel, hat doch die junge Firma, die der damals 35-jährige, ursprünglich als Chemiker ausgebildete Ingenieur 1867 in Levallois-Perret gegründet hat, den Sioule- und den Neuval- Viadukt ausgeführt. Bild 4 zeigt den Sioule-Viadukt, einen Dreifeldträger mit einer Mittelöffnung von 58 m und 45 m hohen Eisenpfeilern, der massive Sockel nicht eingerechnet.

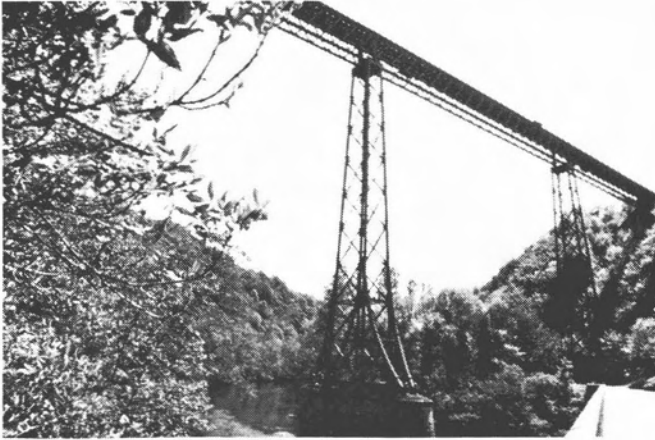


Bild 4: Sioule-Viadukt der Linie Commentry-Gannat

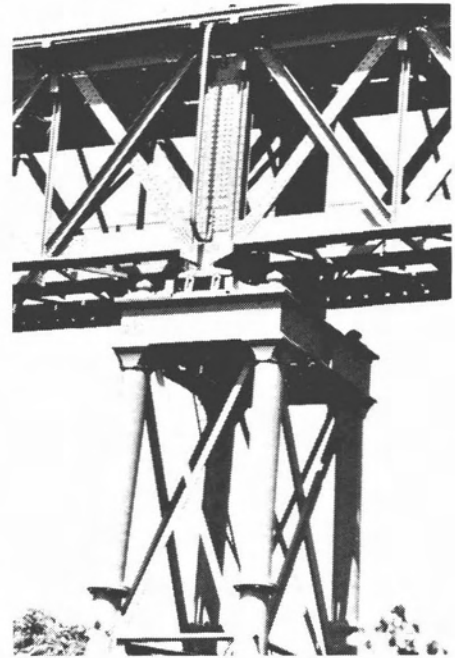


Bild 5: Detail der Hauptträger der Sioule-Brücke

Die anderen, längeren Viadukte der gleichen Strecke wurden einer Arbeitsgemeinschaft der etablierten Firmen Cail und Fives-Lille vergeben. Es ist interessant, gewisse Unterschiede in der konstruktiven Gestaltung festzustellen. Die zuletzt erwähnten Brücken zeigen eine mehrfache Ausfachung, ähnlich zum Grandfey-Viadukt. Bei den zwei Eiffelbrücken sind dagegen nur gekreuzte Streben vorgesehen. Bild 5 zeigt deutlich, dass die Diagonalen der 4 m hohen Hauptträger aus U-förmigen zusammengenieteten Stäben bestehen. Die Druckstreben sind somit knicksicher, wenn man deren Abstützung durch die Zugstrebe in der Mitte berücksichtigt.

Die Gurte der Pfeiler bestehen aus gusseisernen Rohren, weil es sich hier um vorwiegend auf Druck beanspruchte Tragelemente handelt. Bei den Pfeilerfüßen gewährleisteten Flanschverbindungen den Anschluss zu den Auflagerteilen. Die Pfeiler sind bei diesen Viadukten im Fussbereich nach verschiedenen Kurven gespreizt, um die Querstabilisierung zu erhöhen, d.h. um die Verankerungskräfte klein zu halten.

Die Andreas-Kreuze und die anderen Verbindungsstäbe, welche die Verstrebung zwischen den Gurten gewährleisten, bestehen wegen ihrer wechselnden Zug- und Druckbeanspruchungen aus Eisenprofilen. Eine heikle konstruktive Aufgabe ist bei der Verbindung der Gurte mit den Streben zu lösen. Moreaux, der Oberingenieur der obenerwähnten Firma Cail, hat an Rippen der gusseisernen Rohre schweisseiserne Knotenbleche aufnieten lassen, mit der Gefahr eines Sprödbruchs bei der Verbindung dieser unterschiedlichen Werkstoffe. Eiffel hat deshalb bereits beim Vergiessen der Rohre auf Rotglut erwärmte *schmiedeeiserne* Knotenbleche anschliessen lassen und diese noch mit Löchern versehen, die eine Zapfenwirkung bewirken.

In den Jahren 1875-77, d.h. in der Zeit, in welcher der damals zwanzigjährige Maurice Koechlin die zwei letzten Kurse am Eidg. Polytechnikum mit grossem Erfolg absolvierte, baute die Firma Eiffel ihre erste grosse Brücke, die einspurige Eisenbahnbrücke Maria Pia in Porto. Der Entwurf stammt hauptsächlich vom damaligen Hauptmitarbeiter von Eiffel, Seyrig. Bild 6 zeigt die Gesamtanordnung dieses 1889 noch im Betrieb stehenden Bauwerkes und insbesondere den 160 m weitgespannten sichelförmigen Fachwerkbogen mit zwei Gelenken.

An sich besteht auch dieser Viadukt, wie der im Bild 4 gezeigte über die Sioule, aus rund 35 m gespannten durchlaufenden Fahrbahnhauptträgern mit Andreas-Kreuzen, die sich auf ebenfalls

vergitterte Pfeiler stützen. Im Unterschied zur vorherigen Konstruktion sind allerdings jetzt die Viadukt Pfeiler vollständig aus Schweisseisen ausgebildet, wie die Fahrbahn- und die Bogen tragkonstruktion selber, so dass die Strebenanschlüsse zu keinen Schwierigkeiten mehr führen. Zudem dient im Bereich der Douromündung der Fachwerkbogen als Ersatz für die fehlende Gründungsmöglichkeit, ein allerdings aufwendiger Ersatz! Um die Querstabilität zu erhöhen, ist die Bogenkonstruktion in zwei gegeneinander geneigten Ebenen angeordnet, mit einem Anzug von rund 1 zu 8,5.

3. Der Garabit-Viadukt bei Saint-Flour

Diese statisch günstige und auch ästhetisch befriedigende Lösung wurde für die nächste grosse Bogenbrücke der Firma Eiffel, den Garabit-Viadukt über die Truyère bei Saint-Flour im Departement Cantal, beibehalten. Mit dem Bau dieser Hochbrücke in den Jahren 1880 bis 1884 wurde die Eisenbahnstrecke Marvejols-Neussargues um fast 20 km verkürzt, weil sonst eine Trassierung mit stark geneigten Rampen in zwei Nebentälern erforderlich gewesen wäre. Wie Eiffel in der 1888 veröffentlichten Monographie es ausdrücklich erwähnt, war der junge Poly-Ingenieur Maurice Köchlin verantwortlich *pour l'établissement des calculs et du projet*. Nach zwei Jahren im Dienste der *Chemins de Fer de l'Est* in Paris wurde nämlich der dreiundzwanzigjährige Koechlin (vgl. den Lebenslauf auf Seite 16) – als Ersatz für Seyrig, der die Firma nach einem Krach mit Eiffel verlassen hatte und später als Konkurrent auftrat (Seyrig, 1886) – auf Empfehlung von Culmann als *Chef du bureau des études*, d.h. als Oberingenieur angestellt. Eine solche steile Karriere wäre heute in unserem Beruf kaum vorstellbar! Man darf sicher annehmen, dass neben den hervorragenden persönlichen Eigenschaften des jungen Ingenieurs und seinem ausserordentlichen Abschlusszeugnis der Ruf unserer Schule und insbesondere des Begründers der graphischen Statik eine wichtige Rolle gespielt hat. Anders lässt sich der Kontakt von Eiffel mit Culmann kaum erklären.

Die allgemeine Gestaltung des Garabit-Viaduktes sowie die Öffnung von 165 m sind ähnlich wie bei der Douro-Brücke. Bild 7 zeigt eine Gesamtansicht des Viaduktes mit der durch die Mauer von Grandval aufgestauten Truyère. Man merke die grosse Höhe über der Talsohle, die vor dem Stau bis zur Fahrbahnoberkante 124 m erreichte. Das Pfeilverhältnis beträgt rund $1/3$ und ist somit deutlich grösser als in Porto mit rund $1/4$. Es mag interessieren, dass Koechlin (1887) das optimale Pfeilverhältnis eines Stützlinienbogens unter gleichmässig verteilter Vertikalbelastung zu $\sqrt{3/4}$, d.h. 0,43 ermittelt hat. Dabei wird als Zielfunktion das Gesamtgewicht betrachtet, genauer gesagt das Produkt der längs der Bogenachse veränderlichen Normalkraft $N = H/\cos\phi$ mit der Bogenlänge. Eine elegant gelöste mathematische Aufgabe!



Bild 6: Brücke Maria Pia in Porto

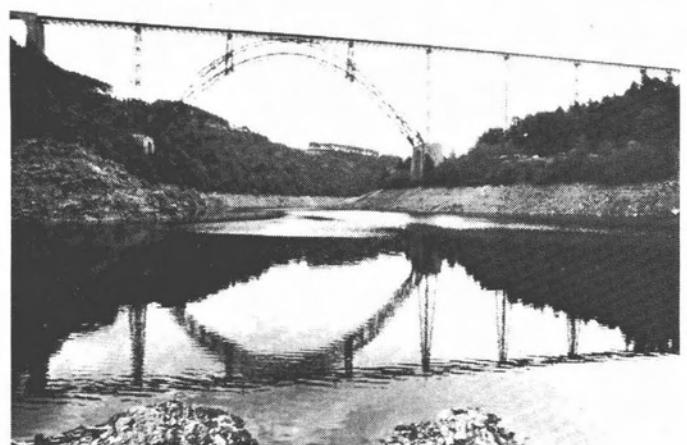


Bild 7: Garabit-Viadukt

Was die Bogenachse des Garabit-Viaduktes anbelangt, fällt sicher auf, dass sie nicht der Stützlinie aus Eigenlast folgt, die wegen des jeweils einzigen Zwischenpfeilers in diesem Punkt deutlich geknickt wäre. Bei einer Bogenhöhe von 10 m im Scheitel ist dies auch nicht erfor-

derlich, ganz im Gegensatz zu einem schlanken Betonbogen. Zudem spielt bei einer eisernen Eisenbahnbrücke die Verkehrslast in ungünstiger Anordnung eine bedeutende Rolle im Vergleich zur Eigenlast, die hier für die Bogenkonstruktion rund 1200 t beträgt.

Es mag interessant sein, auf die Unterschiede in der konstruktiven Gestaltung zwischen Porto und Garabit hinzuweisen, weil dadurch der Beitrag von Koechlin zur Entwicklung des Grossbrückenbaues ersichtlich wird. Es handelt sich zuerst um die Querschnittsausbildung für die Gurte, insbesondere die Pfeilergurte. Bei der Douro-Brücke hat Seyrig diese Gurte als zusammengeklappte kastenförmige Querschnitte vorgesehen, so dass die Streben aussen liegen müssen, um überhaupt angeschlossen werden zu können. Sie sind daher sehr schlank und knickgefährdet. Beim Garabit-Viadukt hat Koechlin dagegen nach Bild 8 für die Pfeilergurte, wie beim Bogen, Hutquerschnitte entworfen, die eine einfache Einführung der Füllungsglieder ermöglichen. Die Streben bestehen deshalb aus vier, in allen Ebenen miteinander vergitterten Winkeln und besitzen eine weit höhere Knickfestigkeit. Diese Lösung wurde zum Patent angemeldet. Bild 8 zeigt zudem, dass wie in Porto die Bogenkämpfer wegen der kleinen zur Verfügung stehenden Höhe vollwandig ausgebildet sind, wobei die Ausfachung als Aussteifung noch sichtbar ist.

Sowohl die Bogen- als auch die Pfeilerausfachung bestehen aus Andreaskreuzen, wobei die Streben als Gitterstäbe grosser Seitensteifigkeit ausgebildet sind. Die im Bild 7 sichtbare Längsverbindung in der Bogenachse, die auch in Porto angeordnet ist, dient hauptsächlich dazu, die Zwischenknoten der sonst zu schlanken Ständer in der Trägerebene festzuhalten und dadurch eine angemessene Knicksicherheit zu erhalten. Ein oberer und ein unterer Windverband ergänzen die in geneigten Ebenen angeordnete Bogenkonstruktion und gewährleisten mit ihrer in Richtung der Kämpfer zunehmenden Breite die seitliche Gesamtsteifigkeit.

Zum Vergleich wird im Bild 9 die Tragkonstruktion der 1883, d.h. praktisch zu gleicher Zeit, dem Verkehr übergebenen Kirchenfeldbrücke in Bern gezeigt. Mit rund 81 m ist die Spannweite nur knapp halb so gross wie diejenige des Garabit-Viaduktes, so dass die maximale Bogenhöhe nicht einmal 3 m erreicht. Bei diesem eingespannten Bogen wurde selbstverständlich eine andere Variation der Trägerhöhe gewählt, mit den grösseren Werten bei den Kämpfern. Die Querschnittsausbildung ist ähnlich wie beim Garabit-Viadukt, mit Hutquerschnitten für die Gurte und zwischen den Gurtstegen eingeführten doppel-T-förmigen Füllungsgliedern. Als Ausfachung ist der einfache Strebenzug gewählt worden, wie dies bei beschränkter Trägerhöhe schon damals ohne weiteres wirtschaftlich möglich war.

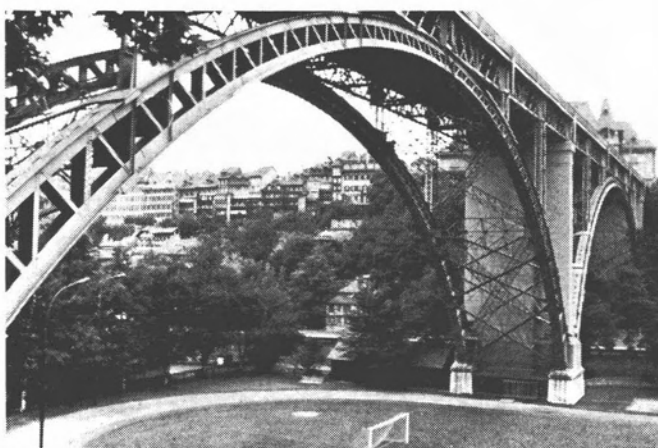
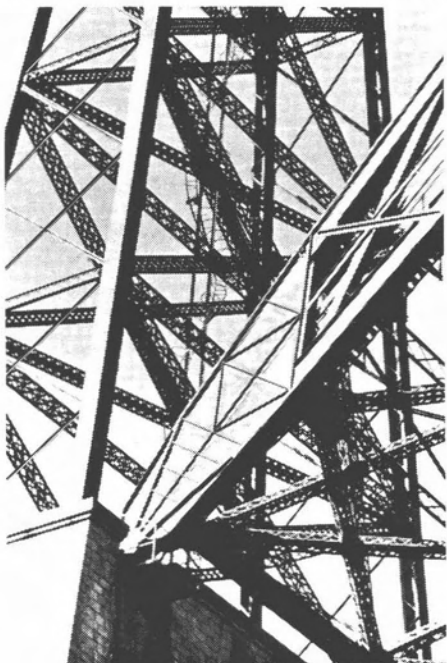
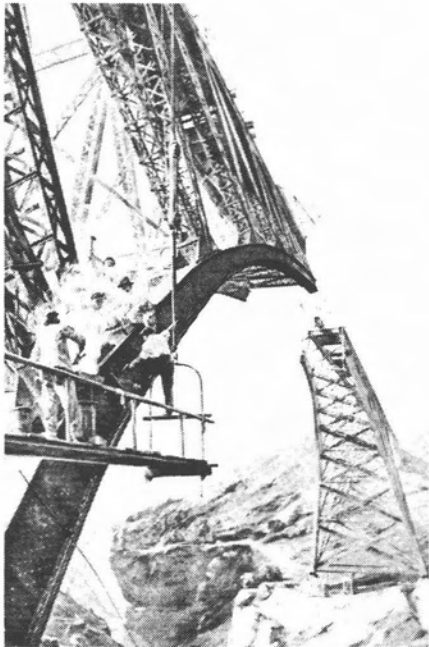


Bild 9: Kirchenfeldbrücke über die Aare in Bern

Bild 8: Kämpferbereich des Garabit-Viaduktes

Der Berner Ingenieur J. Röthlisberger hat zudem in Italien die ähnlich gestaltete Brücke über die Adda bei Paderno entworfen, die soeben hundertjährig geworden ist. Diese eingespannte Bogenkonstruktion hat eine Spannweite von 150 m und trägt eine obenliegende Strasse und zudem eine Bahnlinie zwischen den fachwerkförmigen Fahrbahnhauptträgern (Gaudard, 1902).

Der einfache Strebenzug, den Culmann offensichtlich bevorzugte, hat sich später auch bei grossen Spannweiten durchgesetzt. Als Beispiel zeigt Bild 10 den in den Jahren 1898 bis 1902 von der Société de Constructions des Batignolles hergestellten Viaur-Viadukt auf der Strecke Rodez-Carmau. Mit seiner Mittelöffnung von 220 m und den 70 m langen seitlichen Auslegern, die den Horizontalschub infolge Eigenlast sehr stark reduzieren, stellt dieser Dreigelenkbogen wahrscheinlich einen Weltrekord für dieses Tragsystem dar. Man kann es auch irgendwie als umgekehrte, in sich verankerte Hängebrücke auffassen, liegen doch die auf Druck beanspruchten Untergurte auf der Stützlinie für eine konstant verteilte Belastung, mit sehr kleinen Beanspruchungen für die Füllungsglieder und dem geradlinigen Obergurt als Zugband.



Auch bei dieser einspurigen Eisenbahnbrücke sind die Tragwände geneigt und wirken grundsätzlich als Faltwerk. Den Übergang zu den Widerlagern bilden kurze Einhängeträger, die eine freie lotrechte Bewegung der Auslegerenden ermöglichen. In der Trägerebene sind die zum Teil sehr langen Füllungsglieder mit veränderlicher Breite ausgebildet, um die Knickschlankeit zu reduzieren.

Bild 10: Viaur-Viadukt

Bei der Betrachtung der Gesamtansicht darf man sich fragen, ob diese Ausbildung Maillart zum Entwurf seiner bekannten Scheibenbogenbrücken inspiriert hat. Auf alle Fälle stellt der versteifte Stabbogen, mit einer Rekordspannweite von 336 m für die Mittelöffnung bei der Port-Mann-Brücke über den Fraser River bei Vancouver (Storch, 1965), eine logische Weiterentwicklung dieses Tragsystems dar. Die mit einer Stahlleichtfahrbahn mitwirkenden biegesteifen Fahrbahnhauptträger übernehmen hier die Biegemomente bei einseitiger Belastung, so dass sich eine Ausfachung erübrigt.

Nun zurück zum Garabit-Viadukt. Eine weitere Besonderheit dieses Bauwerkes besteht nach Bild 7 darin, dass die Fahrbahnhauptträger nicht wie in Porto vor dem Scheitel aufhören – und links und rechts aus einem Stück bestehen – sondern durch Gelenke bei den Uferpfeilern unterbrochen und bei den Widerlagern beweglich gelagert sind, eine Lösung, die bekanntlich in ähnlicher Art später bei Betonbogenbrücken verwendet worden ist. Die Temperatureinflüsse werden dadurch stark vermindert, allerdings bringt die Unterbrechung auch gewisse Nachteile mit sich. Zuletzt soll erwähnt werden, dass die Fahrbahn nach Bild 7 in der Mitte der Längsträger angeordnet ist. Nach dem Bericht von Eiffel wurde diese Ausbildung gewählt, um einen Einsturz der Haupttragkonstruktion bei einer Entgleisung möglichst auszuschliessen, d.h. die Träger sollten dann als Leitwände wirken. Die Idee der Gefährdungsbilder ist offensichtlich nicht so neu!

Für den Montagevorgang war Emile Nougier, ein Kollege von Koechlin, verantwortlich, der in ähnlicher Funktion auch beim Eiffelturm auftrat. Bild 11 zeigt, dass es sich um einen Vorbau mit Kabelunterstützung in mehreren Etappen handelt. Die Kräfte der Abspannseile werden dabei durch die Fahrbahnträger aufgenommen und zu den schrägen Endabspannungen bei den Widerlagern weitergeleitet. Zum Einbau der leichteren Elemente dient ein Kabelkran, für die schwereren Gurtelemente ein auf dem Bogenobergurt fahrbares Hebezeug und die Dienstbrücke mit dem Transportwagen. Ein ähnliches Verfahren wird noch heute oft verwendet, z.B. bei der New River Gorge Bridge (Bode, 1978), die mit 517 m die zurzeit weitest gespannte Fachwerkbogenbrücke der Welt ist.

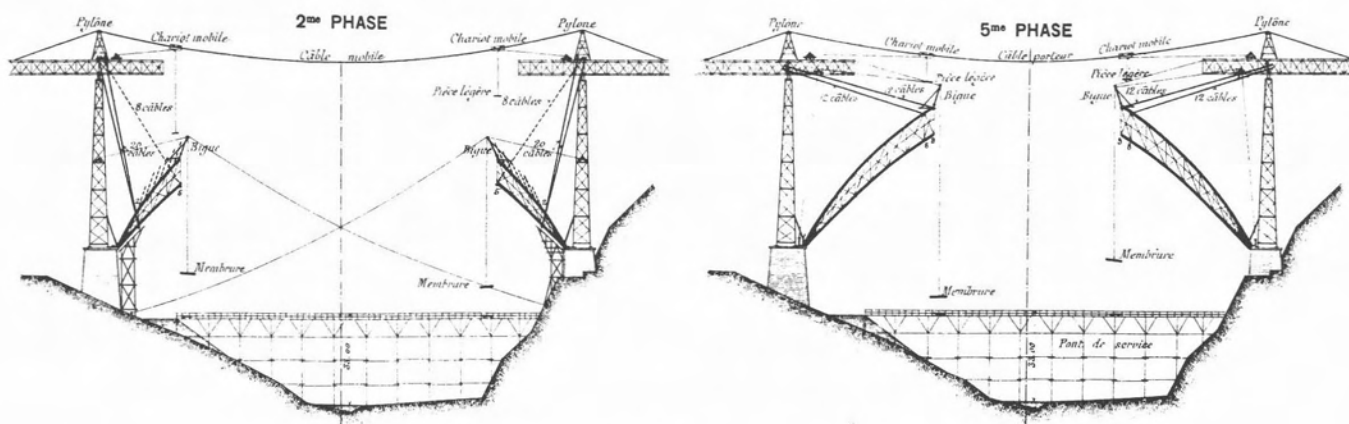


Bild 11: Montagevorgang beim Garabit-Viadukt (Eiffel, 1888 und 1889)

4. Das Buch *Applications de la statique graphique* von M. Koechlin

Bevor wir zur bekanntesten von Koechlin entworfenen Konstruktion, zum 300-Meter-Turm, übergehen, wollen wir sein Hauptwerk erwähnen, die *Statique graphique*, die 1889 und in zweiter, erweiterter Auflage 1898 erschienen ist. Wie bei allen Veröffentlichungen mit einem ähnlichen Titel, vielleicht mit der Ausnahme des bekannten Buches des eigentlichen Begründers der graphischen Statik (Culmann, 1866), deckt sich der Titel nicht voll mit dem Inhalt. Was wir heute als eigentliche graphische Statik betrachten, d.h. die zeichnerische Zusammensetzung und Zerlegung von Kräften, die Momentenfläche als Seilpolygon mit Schlusslinie – allenfalls veränderlich für die Bestimmung der Grenzwerte bei Verkehrslast – sowie die Mohrsche Erweiterung für die Bestimmung von Biegelinien, die Ermittlung der Stabkräfte in Fachwerken nach dem Culmannschen Schnittverfahren, usw. decken nur etwa einen Drittel des Buchinhaltes, allerdings den Hauptteil des beigelegten Tafelwerkes. Die klassische Biegelehre und die analytischen Berechnungsverfahren, z.B. die Dreimomentengleichungen von Clapeyron für Durchlaufträger, werden meistens mit geschlossenen Formeln angegeben. Den letzten Teil würden wir eher als Stahlbau, genauer gesagt als Stahlbrückenbau und Stahlhochbau bezeichnen.

Wir möchten noch erwähnen, dass das Kapitel über die Bogenberechnung, insbesondere für den Zweigelenkbogen, die französische Übersetzung einer Veröffentlichung von Wilhelm Ritter (1886), dem Nachfolger von Culmann an Polytechnikum, ist. Wahrscheinlich hat somit Koechlin auch nach dem Tode seines Lehrers Culmann gute Beziehungen zu unserer Schule weitergepflegt, dies sicher zum Vorteil beider Beteiligten. Den aus der Bauzeitung übernommenen Abschnitt über Nebenspannungen in Fachwerken hat dagegen nicht Wilhelm sondern Friedrich Ritter (1884) verfasst.

In den Bildern 12 und 13 sind einige Rosinen aus dem Buche gepickt. Wir betrachten zuerst im Bild 12 eine verallgemeinerte **Einflusslinie** für die Querkraft im Schnitt F eines einfachen Balkens, erweitert in dem Sinn, dass nicht wie üblich die Wirkung einer Einheitslast berücksichtigt wird, sondern die eines Lastenzuges, hier mit sieben Achsen. Dabei wird die Einflussordinate unter der ersten Achse des Lastenzuges abgetragen. Dies würde allenfalls eine

knifflige Prüfungsaufgabe in Baustatik abgeben, wahrscheinlich nur für Studenten mit der Kapazität von Koechlin geeignet!

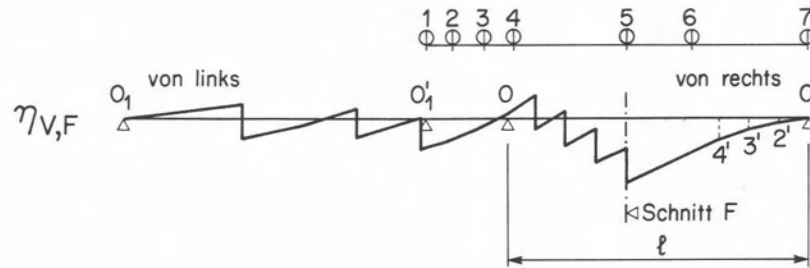


Bild 12: Verallgemeinerte Einflusslinie

Bild 13 zeigt einen **Dreifeldträger** mit dem schematisch dargestellten Verlauf der Biegesteifigkeit EI . Aus den von Koechlin angegebenen Spannweiten geht hervor, dass es sich um die von der Firma Eiffel im Jahre 1884 gebaute Eisenbahnbrücke bei Evaux über den Fluss Tardes handeln muss, ein Bauwerk mit massiven Pfeilern und einer engmaschigen Ausfachung. Es zeigt sich dabei deutlich, dass der Übergang vom Gitterwerk zum einfachen Strebenzug kaum in einer geraden Linie geschehen ist. Ein Grund für die Wahl einer mehrfachen Strebenanordnung liegt vielleicht im Montagevorgang durch Längseinschieben. Durch die enge Stützung des Untergurtes kann dessen Biegung durch die Rollen in vernünftigen Grenzen gehalten werden (für einen Unfall beim Einschieben einer Fachwerkbrücke, vgl. Godard, 1924). Die Tardes-Brücke ist allerdings während einer längeren Einschiebepause bei einem Wintersturm zerstört worden. Um zu sparen, hatte man nämlich den Vormontageplatz sehr kurz gehalten, so dass während des weiteren Zusammenbaues längere Zeit eine grosse Kragarmlänge entstand.

Für die Berechnung des zweifach statisch unbestimmten Trägers wählt Koechlin, nach einem Vorschlag von Bertrand de Fontviolant, als Grundsystem den zwischen den Widerlagern frei gespannten einfachen Balken, d.h. ein offensichtlich fehlerempfindliches System mit den Auflagerkräften über den Pfeilern als überzählige Größen. Die Einsenkungen der freigestellt gedachten Stützenknoten werden graphisch mit der Mohrschen Analogie bestimmt, wobei als Belastung nicht die Krümmungen M/EI sondern direkt die Momente eingesetzt werden, und die Veränderlichkeit der Steifigkeit durch eine Variation der Polweite des Seilpolygons berücksichtigt wird.

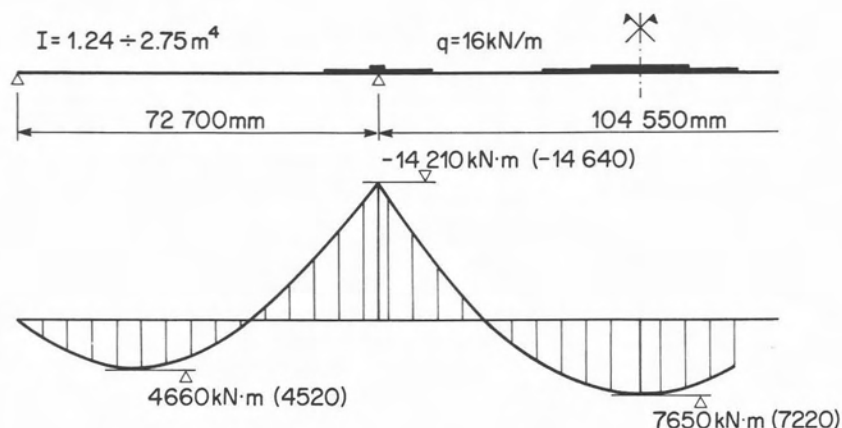


Bild 13: Durchlaufträger mit veränderlicher Biegesteifigkeit

Da sich bei einem solchen Grundsystem die Ergebnisse als Differenzen grosser Zahlen ergeben, haben wir eine Kontrollberechnung mit dem Programm Statik durchgeführt, selbstverständlich genau mit den von Koechlin angegebenen Steifigkeiten und mit deren Längsverteilung. Für eine Vollbelastung der drei Felder weichen die von Koechlin ermittelten Pfeilerauflagerkräfte nur um 0,4% von den *genauen* ab. Bei den Biegemomenten sind selbstverständlich die Unter-

schiede grösser, übersteigen aber nicht 5%. Für Teilbelastungen im Endfeld oder im Mittelfeld sind die Abweichungen bei den überzähligen Grössen höher, bei den massgebenden Momenten wird aber ein Unterschied von 5% nicht überschritten. Die erweiterte Clapeyronsche Dreimomentengleichung – allenfalls in der Form der von Culmann (1875) bereits grundsätzlich entwickelten und von Koechlin ebenfalls erwähnten Festpunktmethode – würde hier selbstverständlich mit dem gleichen Aufwand zu einer besseren Genauigkeit führen.

Bei der Behandlung der **Knickprobleme** in der zweiten Ausgabe der *Graphischen Statik* wird wieder die Beziehung mit dem Poly sichtbar, indem die Knickkurven hauptsächlich aufgrund der bekannten Tetmajerschen Versuche (Tetmajer, 1896) hergeleitet werden. Zusätzlich werden auch Ergebnisse von Bauschinger und Considère berücksichtigt. Die von Jasinski vorgeschlagene Ausgleichsgerade für gedrungene Stäbe aus Schweisseisen lautet $339 - 1,65 \cdot \lambda$, mit einem Übergang bei $\lambda = 115$ zur Eulerschen Hyperbel $\sigma_K = \pi^2 \cdot 200'000 / \lambda^2$ (N/mm²). Die Übereinstimmung mit der in der Schweizer Norm von 1913 enthaltenen Vorschrift,

$$\sigma_{K,zul} = 75 - 0,3 \cdot \lambda \quad \text{für } 10 \leq \lambda \leq 110 \quad \text{und} \quad \sigma_{K,zul} = 500'000 / \lambda^2 \quad \text{für } \lambda \geq 110$$

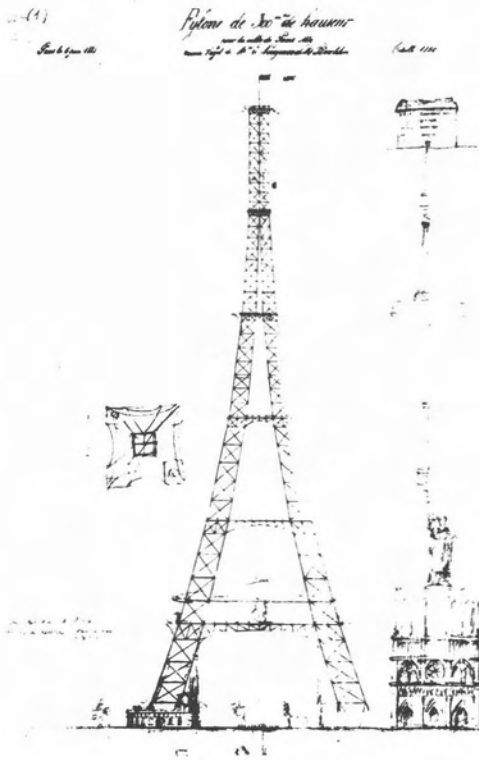
unter Berücksichtigung eines Sicherheitsfaktors von rund 4, ist frappant. Die experimentellen Untersuchungen von Tetmajer an Knickstäbe aus Eisen und Stahl sind hauptsächlich im Anschluss an den Brückeneinsturz bei Münchenstein, im Jahre 1891, durchgeführt worden. Das Bauwerk war 1874/75, kurz vor dem Bau der Douro-Brücke, von der Firma Eiffel erstellt worden. Dabei wurde der ursprüngliche Entwurf mit parabolisch gekrümmtem Obergurt in eine gerade Fachwerkbrücke abgeändert, was im Liefervertrag bewilligt war (vgl. Ritter und Tetmajer, 1891). Wir wollen hier nicht auf die Ursachen dieses Einsturzes eingehen, sondern nur auf die Knickprobleme hinweisen.

In der ersten Ausgabe seiner *Graphischen Statik*, die zwei Jahre vor dem Unglück in Münchenstein erschienen ist, erwähnt Koechlin nur die Eulersche Knicktheorie, mit verschiedenen Randbedingungen. Dabei erachtet er eine Sicherheit von zwei als genügend. Auf den ersten Blick mag dies überraschen. Es muss aber berücksichtigt werden, dass die zulässige Spannung auf Druck auf 6 kg/mm², d.h. auf 60 N/mm² begrenzt war. Zudem wurde in die Eulersche Formel aufgrund von Belastungsproben an genieteten Bauwerken ein E-Modul von nur 160 kN/mm² eingeführt, so dass tatsächlich eine Sicherheit von rund 2,5 resultiert. Die so dividierte Eulersche Hyperbel erreicht den Wert von 60 N/mm² für rund $\lambda = 115$, genau wie im Vorschlag von Jasinski. Für gedrungene Stäbe ersetzt man somit einfach die geneigte Tetmajersche Gerade durch den Festwert von 60 N/mm², so dass sich überall eine vernünftige Sicherheitsmarge ergibt.

5. Erster Entwurf von Koechlin für den 300-Meter-Turm

Wir kommen jetzt zum 300-Meter-Turm, der anlässlich der Weltausstellung 1889 in Paris errichtet wurde. Bild 14 gibt die bekannte erste Skizze wieder, die das Datum vom 6. Juni 1884 und die Unterschrift von Maurice Koechlin trägt. Die erste Frage, die man sich stellen kann, ist wahrscheinlich folgende: Warum gerade 300 m? Die Antwort ist klar, wenn man sich daran erinnert, dass tausend Fuss rund 300 m ergeben. Die Idee einer solchen Konstruktion entstand schon früher, wurde aber nie konkret im Detail verfolgt. Nur mit der Verwendung des hochfesten Werkstoffes Eisen wurde es möglich, diesen Traum zu realisieren.

Als 1884 die ersten Entwürfe für die Bauten an der vorgesehenen Weltausstellung in Paris diskutiert wurden, fasste Koechlin den Gedanken, als Hauptattraktion einen *Pylon* unerreichter Höhe vorzuschlagen und er erarbeitete in seiner Freizeit zu Hause einen ersten Entwurf. Da der Name seines Kollegen Nougier auf der Skizze als Koautor erwähnt ist, hat dieser wahrscheinlich den Montagevorgang dieses Riesenbauwerkes bereits damals grundsätzlich überlegt. Die Skizze wurde Gustave Eiffel vorgelegt, der zuerst von dieser nackten Eisenkonstruktion nicht gerade begeistert war. Einige Monate später, nach einer architektonischen Bearbeitung durch den Architekten Sauvestre, wurde mit Koechlin und Nougier ein Vertrag



Projet de pylône
 Pour la ville de Paris
 de M^{rs} E. Tanguy et N. Koechlin

Note de calcul et métré
 sommaire.

La note comprendra la détermination des surfaces affectés au vent, la résistance au vent, la résistance aux charges, et enfin la détermination des poids.

Ces éléments sont fonctions les uns des autres, les calculs devront donc tous être menés de front.

A cet effet nous partons de la partie supérieure et nous venons en descendant jusqu'à la base.

Tous admettons un vent de 400 kg par mètre carré de surface affecté au vent et nous comptons entièrement toutes les surfaces rencontrées.

1^{er} Couronnement.

Plan			
Garde corps développement 96 à 40 ^m			1840 ^{kg}
16 consoles à 100 ^m			1600 ^{kg}
Fortification a. et b. 96 à 15 ^m			1500 ^{kg}
Pices c	4 à 50		200 ^{kg}
Pices d	4 à 230 ^m		920 ^{kg}
Pices e	2 à 330 ^m		660 ^{kg}
32 Barres de treillis à 28 ^m			900 ^{kg}
8 membrures à 50 ^m			240 ^{kg}
8 membrures à 320 ^m			2560 ^{kg}
Total			12.420 ^{kg}

Bild 14: Erste Skizze des 300-Meter Turmes (vgl. auch S. 17)

Bild 15: Erste Seite der Vorbemessung des 300-Meter-Turmes, Koechlin 1884

unterzeichnet und zudem die Konstruktion als Patent angemeldet. Von da an hat sich Eiffel mit voller Energie und politischer Gewandtheit für die Verwirklichung des Turmes eingesetzt und auch die finanzielle Verantwortung übernommen. Diese Details mehr juristischer Natur (vgl. dazu die Seiten 18–22) sollen uns nicht weiter beschäftigen und wir kommen zum technischen Problem zurück.

Gleichzeitig mit seiner Skizze hat Koechlin eine Vorbemessung vorgenommen. Diese Unterlage trägt den Namen *Note de calcul et métré sommaire*. Sie wurde zuerst während der Ausstellung zum 50-jährigen Turmjubiläum von Koechlin selber anlässlich einer Sitzung der *Amicale Parisienne der GEP* vorgestellt, wie dies aus dem Band 114 (1939) der Bauzeitung (S. 112) hervorgeht. Bild 15 zeigt die eigenhändig geschriebene erste Seite dieses Dokumentes, aufgenommen nach einer von der Familie freundlicherweise abgegebenen Photokopie.

Aus Bild 14 geht klar hervor, dass Koechlin zuerst eine Konstruktion mit sechs, je 50 m hohen Stockwerken vorgesehen hat. Die entsprechende Berechnung erfolgt selbstverständlich von oben nach unten, d.h. das oberste Stockwerk ist als 1^{er}, *Couronnement*, bezeichnet. Die Belastungsannahmen sind folgende: eine auf der ganzen Turmhöhe konstante Windbelastung von 400 kg/m², wobei mit dieser Zahl wie damals üblich nicht der Staudruck, sondern der bereits mit einem Formfaktor multiplizierte Wert gemeint ist. Alle vom Wind getroffenen Flächen der Stabelemente werden voll berücksichtigt, d.h. für die hintere Wand wird keine Abschirmung durch die vordere angenommen. Die parallel zur Windrichtung laufenden Wände bleiben dagegen wie üblich unberücksichtigt. Die Vertikallasten ergeben sich sukzessiv aus der Bemessung der Stockwerke und aus den angenommenen Nutzlasten für die Plattformen.

Für die drei oberen Stockwerke, bei denen der Anzug der Gurtelemente noch nicht ausgeprägt ist, werden die Momente und die Querkräfte aus Wind rechnerisch ermittelt. Daraus ergeben

sich mit den bekannten Formeln und der angenommenen Systemgeometrie die Gurt- und die Strebenkräfte, wobei den letzten die volle Querkraft zugewiesen wird. Für die unteren Stockwerke wäre diese Annahme zu ungünstig, weil die waagrechten Komponenten der Stabkräfte der gegenüber der Vertikalen geneigten Ständerelemente den Hauptanteil der Querkraft aus der Windbelastung übernehmen. Koechlin verwendet hier die bekannten Verfahren der graphischen Statik.

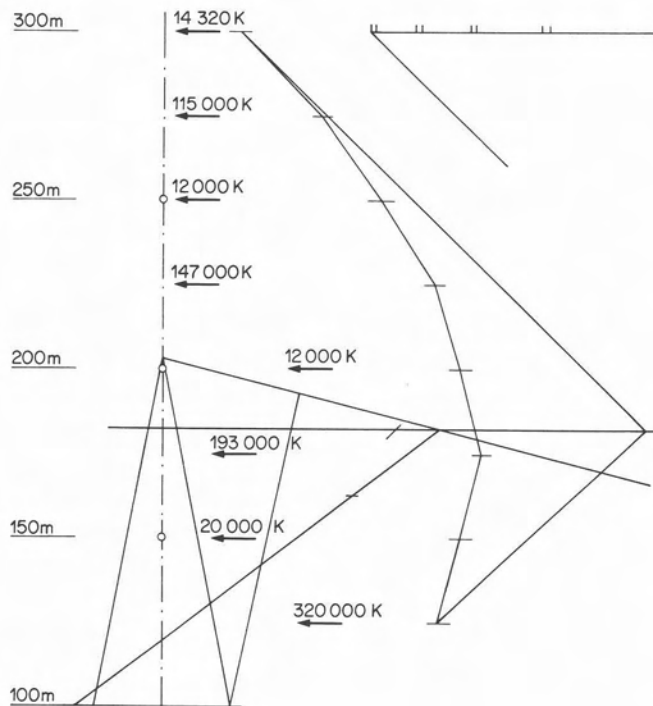


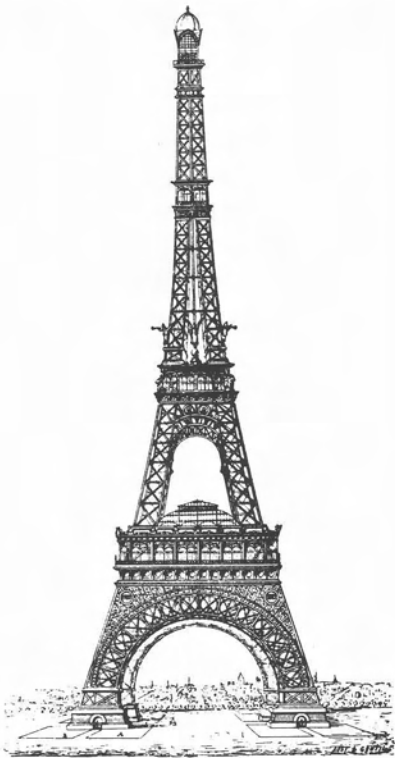
Bild 16 – nach S. 6 der *Note de calcul et métré sommaire* – zeigt die zeichnerische Bestimmung der resultierenden Windkraft im zweiten Stockwerk, von unten aus gemessen. Die wiedergegebene Originalkonstruktion von Koechlin enthält keine überflüssigen Striche. Die Bestimmung der Lage der Resultierenden R der acht bekannten Plattform- und Turmschaftkräfte ist gut erkennbar. Der nächste Konstruktionsschritt besteht in der Culmannschen Zerlegung in die drei gegebenen Richtungen, d.h. in die gegenüber der Vertikalen etwa 1:5 geneigten Achsen der zwei Ständer und in die schiefe Achse der angenommenen Strebe. Der Lösungsweg ist allerdings nicht eindeutig nachvollziehbar. Wahrscheinlich hat Koechlin hier zwei konservative Annahmen gemacht: die Ständerkräfte wurden mit den gezeigten Achsen ermittelt, die in ihrer Anordnung mit denen der Skizze nach Bild 14 übereinstimmen. Dabei wurde aber offensichtlich vorausgesetzt, dass die resultierende Windkraft im Schnittpunkt der Ständerachsen angreift, weil diese Annahme zu den grösstmöglichen Beanspruchungen dieser Elemente führt. Für die Strebe wurde dagegen die tatsächliche Lage betrachtet.

Bild 16: Seilpolygon für die Windkräfte am 2. Stockwerk des Turmes

Vielleicht fragt sich der Leser schon seit einiger Zeit, wo diese postulierten Hauptstreben im Bild 14 enthalten sind, besonders in den vier unteren Stockwerken: es gibt sie tatsächlich gar nicht, und die Turmkonstruktion wirkt in diesem Bereich an sich eher als Rahmen, falls die resultierende Windkraft nicht jeweils im Schnittpunkt der verlängerten Ständerachsen angreift. Wir kommen auf dieses Problem, das Koechlin bestens bekannt war, anschliessend noch zurück.

Zum Abschluss der Behandlung des ersten Entwurfes möchten wir nur hinzufügen, dass der Gesamtquerschnitt im oberen Bereich aus drei parallelen Wänden in jeder Hauptrichtung, im unteren Bereich wie bei der ausgeführten Konstruktion aus vergitterten Ständern mit je vier Eckstielen hätte bestehen sollen.

6. Überarbeitung des Entwurfes und ausgeführte Turmkonstruktion



Im Band 4 (1884) der Bauzeitung erschien unter *Miscellanea* (S. 138) eine zweite Skizze, die aus den *Annales des Travaux Publics* übernommen wurde und im Bild 17 wiedergegeben ist. Die nun gewählte Stockwerkeinteilung entspricht bereits praktisch der ausgeführten Turmkonstruktion. Bei der Tragstruktur sind aber deutliche Unterschiede sowohl zum ersten Entwurf nach Bild 14 als auch zur Ausführung (vgl. z.B. Bild 18) festzustellen, insbesondere im unteren Bereich. Die monumentale Bogenstruktur, die wahrscheinlich auf die Mitwirkung des Architekten Sauvestre zurückzuführen ist, konnte für die Ausführung nicht in dieser Form beibehalten werden. Insbesondere wäre der Anzug der Ständer zu klein und deren Achsenführung von der erwünschten Stützenlinienform für die Windbelastung stark verschieden. Wahrscheinlich ist es aber die Vorlage zu dieser Zeichnung, die Eiffel nach einem Besuch bei Sauvestre auf Anraten von Bartholdi, dem für die Freiheitsstatue in New York beauftragten Bildhauer, von den Erfolgsaussichten des Vorschlages seiner Hauptmitarbeiter überzeugt hat.

Bild 17: Turm-Entwurf von 1884

Der bogenartige Unterbau der ausgeführten Konstruktion hat nur noch eine dekorative Funktion und erinnert an einen Triumphbogen, wie es sich für eine Weltausstellung geziemt. Diese Konstruktion wird im von Koechlin für die Bauzeitung von 1889 verfassten Bericht im letzten Abschnitt *La décoration de la construction* kurz gestreift.

Die eigentliche Tragstruktur ist im Bild 18 abgebildet. Der obere Teil besteht dabei aus einem quadratischen Querschnitt mit vier kräftigen Eckstielen und einem weiteren Mittelgurt pro Wand. Ab Kote 180 m über Boden verzweigt dieser Mittelgurt in zwei Elemente, die im mittleren und unteren Bereich einen der vier Eckstiele der gewaltigen Ständer bilden. Gegenüber dem ersten Entwurf nach Bild 14 fällt auf, dass die Wände nun in den zwei oberen Dritteln der Turmkonstruktion durchgehend ausgefacht sind und somit die Querkräfte aus Wind problemlos aufnehmen können. Es handelt sich eigentlich um eine Fachwerkrohre mit hoher Torsionssteifigkeit und Biegesteifigkeit in beiden Richtungen, eine Lösung die heutzutage bei Hochhäusern gelegentlich verwendet wird.

Zur Einleitung der Torsionsmomente und zur Gewährleistung der Querschnittsform sind waagrechte Querverbände angeordnet. Bild 19 auf der übernächsten Seite zeigt, dass die Durchführung des Aufzuges als Zugang zum dritten Stockwerk zu einer Anordnung mit einer einzigen Strebe geführt hat, anstelle der damals üblichen Andreaskreuze. Die kastenförmigen Eckstiele sowie die Gitterstäbe für die Mittelgurte und für die Ausfachtung sind gut sichtbar und geben eine Idee von der gewählten konstruktiven Ausbildung.

Im unteren Drittel verbleiben allerdings nach Bild 18a nur die vier polygonal geführten Ständer mit ihren waagrechten, gitterartigen Verbindungen in der Höhe des ersten Stockwerkes. Wie wurde der Verlauf der Ständerachsen in diesem Bereich bestimmt? Die Überlegungen von Koechlin gehen aus Bild 20 hervor, welche die vereinfachte Darstellung der Tafel 11 aus seiner graphischen Statik enthält. Diese Zeichnung zeigt einen verjüngten Brückenpfeiler mit der dazugehörigen Windbelastung, konzentriert in den Knoten gedacht.

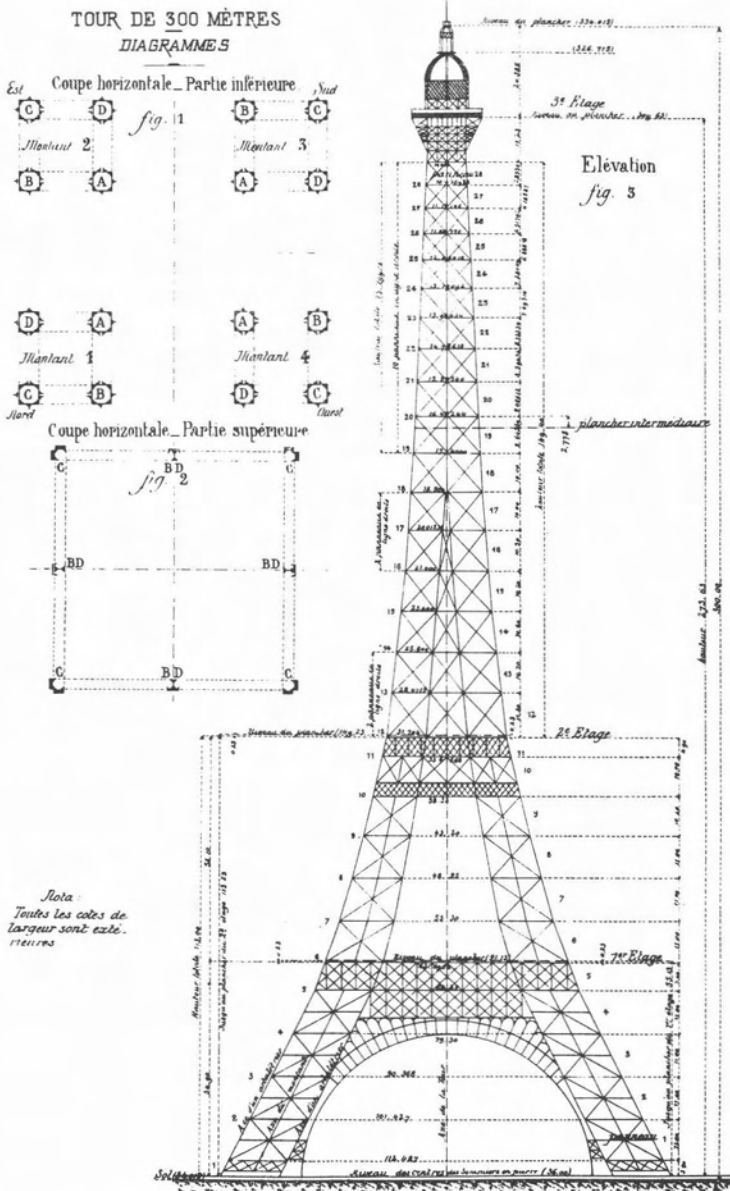


Bild 18a: Statisches System des Turmes (nach SBZ Bd. 13 (1889), Fig. 3)

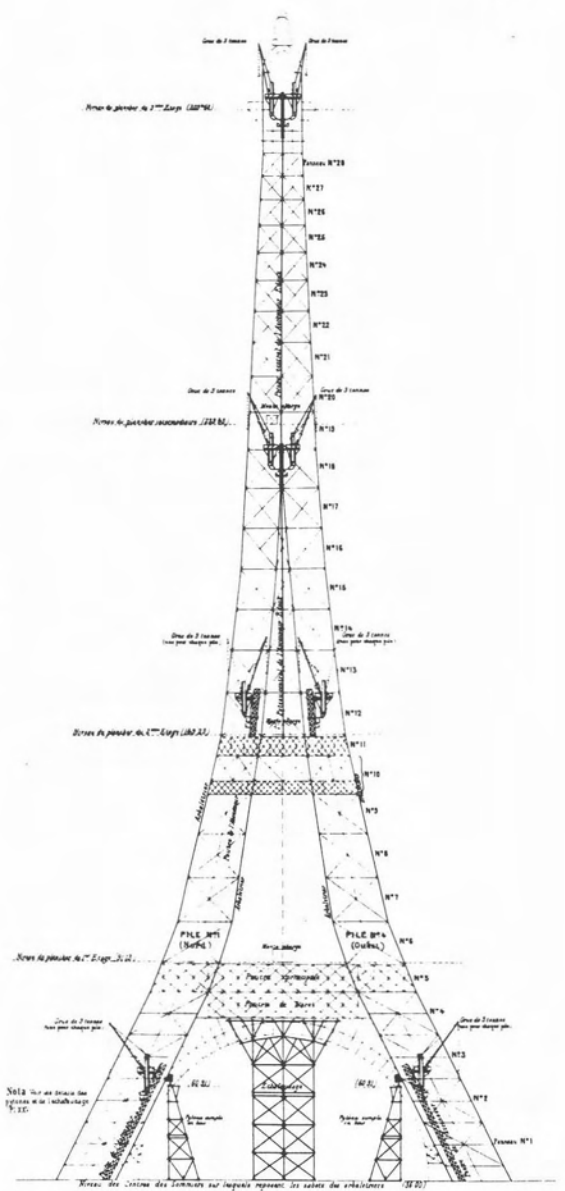


Bild 18b: Montagevorgang (nach Eiffel, 1900)

Im Bild 20 wurde keine Reaktion aus dem Überbau berücksichtigt, um eine bessere Übereinstimmung mit dem ausgeführten Turm zu erreichen. Mit einem einzigen Seilpolygon kann die resultierende Windkraft in jedem Stockwerk bestimmt werden, z.B. die Resultierende $R_{1,2,3}$ aus den drei oberen Kräften F_1 bis F_3 , bzw. aus den dazugehörigen Hilfskräften I und IV.

Sind nun die Pfeilerständer – z.B. die vom dritten Stockwerk – jeweils so angeordnet, dass die entsprechende Windresultierende im Schnittpunkt ihrer verlängerten Achsen, d.h. im Drehpol der Strebe D angreift, so ist die Strebenkraft null und dieser Stab ist an sich überflüssig. Koechlin hat diese für die Windbelastung stützlinienartige Form des unteren Turmbereiches aufgrund solcher Überlegungen ermittelt. Dabei hat er vorsichtigerweise zwei Annahmen für die Windbelastung getroffen: einerseits eine über die Höhe konstant verteilte Belastung von 300 kg/m^2 , andererseits eine trapezförmige Verteilung mit einem Wert von 400 kg/m^2 an der Spitze und von 200 kg/m^2 am Fuss. Die zwei dazugehörigen Kurven für die Ständerachsen weichen nach Aussage von Koechlin wenig voneinander ab, und es wurde mit dem Mittelwert konstruiert. Wie bereits erwähnt sind zudem die rahmenartig mit der hohen Traverse im ersten Stockwerk verbundenen Ständer ohne weiteres im Stande, auch anderen Belastungsanordnungen zu widerstehen.

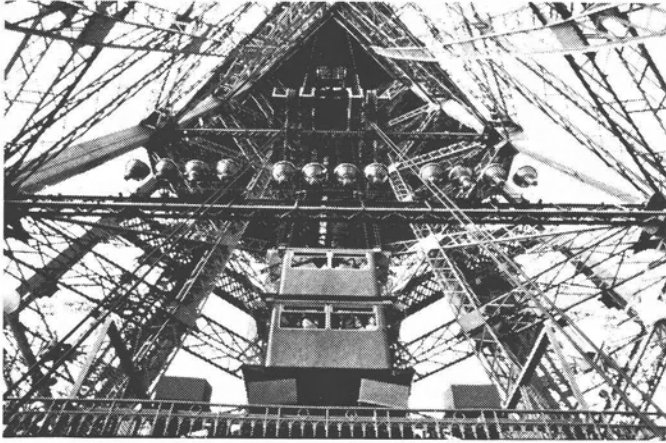


Bild 19: Strebe eines Querverbandes

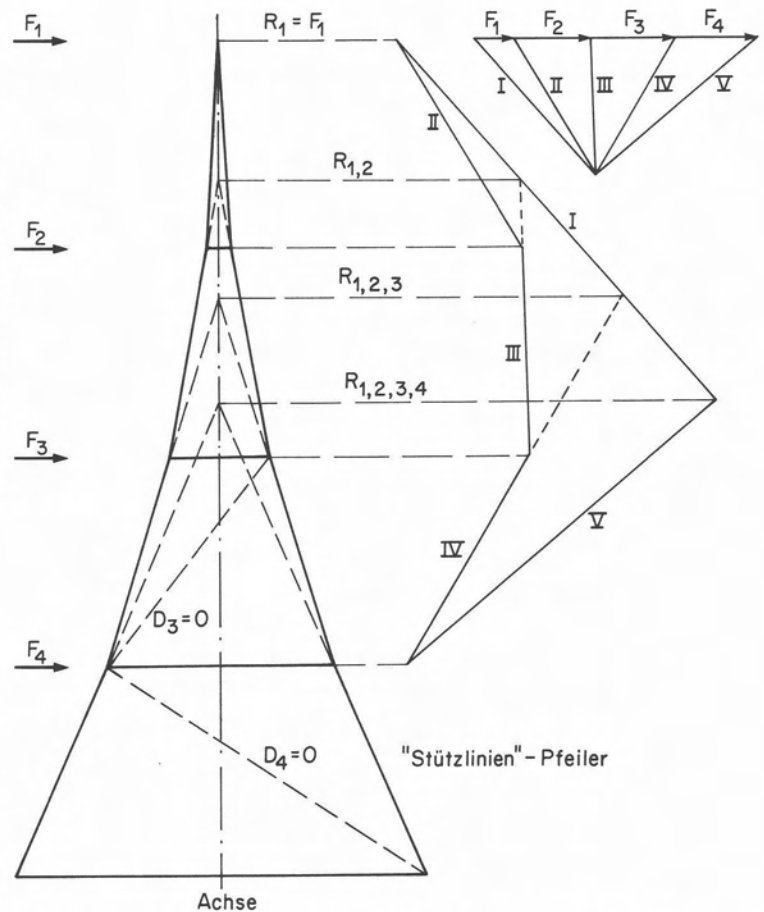


Bild 20: Konstruktion eines "stützlinien-artigen" Turmes unter Windbelastung

Aus den Vertikallasten erhalten die zwischen dem ersten und dem zweiten Stockwerk polygonal geführten Ständer auf alle Fälle Biegemomente, die von diesen gewaltigen Gitterstäben problemlos aufgenommen werden können. Auch die Wirkung von Temperaturänderungen wurde verfolgt. Sie spielt praktisch nur im unteren Bereich eine gewisse Rolle. Im gleichen Bereich, mit dem rasch zunehmenden, waagrechten Hebelarm zwischen den Ständerachsen, überwiegen nach Auskunft von Koechlin die Vertikallasten die Windbeanspruchungen deutlich, so dass die Sicherheit gegen Umkippen ohne Verankerungen gewährleistet wäre. Dabei wiegt die Eisenkonstruktion rund 7000 t, d.h. weniger als das Gewicht des Luftzylinders mit einer den Fusspunkten umgeschriebenen Kreisfläche und einer Höhe von 300 m.

7. Montage des Turmes und Schlussbemerkungen

Wie bereits erwähnt lag die Planung der Montage bei Nougier, die Montageleitung auf der Baustelle bei Compagnon, mit seinem prädestinierten Namen für einen Nachfolger der früheren Handwerksgesellen! Compagnon war überall dabei: in Porto, Garabit und schliesslich beim Viaur-Viadukt, wo er gestorben ist. Als Ergänzung zum statischen System nach Bild 18a sind im Bild 18b die Hauptetappen mit den benötigten Gerüsten und Geräten schematisch dargestellt. Bild 21 zeigt den Beginn der Montage des Ständers Nr. 4. Die konstruktive Ausbildung der Eckstiele und der Gitterstäbe für die Ausfachung ist gut ersichtlich. Zudem sieht man, mit welchen Fördermitteln die Konstruktion errichtet wurde. Für die Montagefortsetzung sind nach Bild 18b wegen der beträchtlichen Neigung zur Vertikalen hölzerne Stützjoche nötig.

In der nächsten Etappe mussten die vier Ständer mit der Traverse im ersten Stockwerk abgeschlossen werden. Da die Ständer vorher in einer mehr vertikalen Lage montiert wurden, waren sie zuerst genau zu richten. Dies wurde mit an den Füßen angeordneten hydraulischen Pressen von 800 t Tragkraft erreicht. Die Montage wurde anschliessend in die Richtung des zweiten Stockwerkes fortgesetzt. Die eigentliche Eisenmontage war am 30. März 1889 abgeschlossen, rechtzeitig vor der Eröffnung der Weltausstellung. Da zum 100-jährigen Jubiläum des Turmes viele, reich bebilderte Veröffentlichungen erschienen sind, können

wir auf weitere Montagebilder verzichten und für unser Land unter anderen auf von Büren (1989), Glaus (1989) und Neyroud (1989) hinweisen.

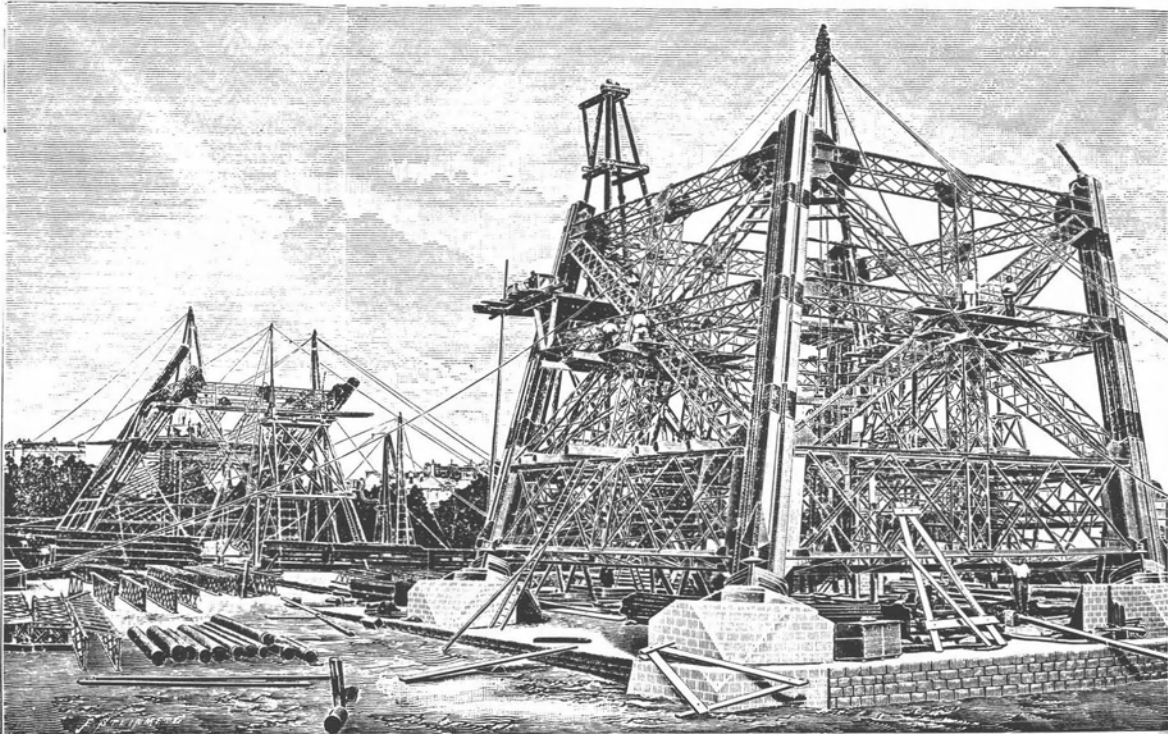


Bild 21: Beginn der Turmmontage (September 1887)

Der 300-Meter-Turm hat von Anfang an, sogar vor dem Baubeginn, eine grosse Anziehungskraft ausgeübt. Bekannte Künstler wie Gounod und Maupassant haben damals gegen die Errichtung dieses *barbarischen Fabrikschornsteines* protestiert. Später hat dagegen Delaunay den Turm in seinen Bildern verewigt und Jean Cocteau hat *Les Mariés de la Tour Eiffel* geschrieben, für die "Le Groupe des Six" (Auric, Durey, Honegger, Milhaud, Poulenc und Tailleferre) 1921 die Musik komponierte.

Warum konnte dieser gigantische Brückenpfeiler ohne logisch erkennbare Funktion, weil ja kein Oberbau zu tragen ist, zum Wahrzeichen von Paris werden und sogar im fernen Tokyo getreu nachgeahmt werden, während der Sears Tower in Chicago trotz seiner Rekordhöhe kaum weltbekannt ist? Wie hätte Freud die Konkretisierung dieses menschlichen Traumes als psychoanalytisches Symbol ausgelegt, vielleicht mit einer Deutung, die den Puritaner Koechlin schockiert hätte? Ich möchte solche Fragen unbeantwortet lassen, und dem Leser als Anregung weitergeben.

Dieser Artikel ist die leicht überarbeitete Fassung des am 25. Mai 1989 im Rahmen des *Kolloquium für Baustatik und Konstruktion* gehaltenen Vortrages mit dem gleichlautenden Titel.

Literaturangaben

- Bode H.: *New River Gorge Bridge: Der Welt längster Stahlbogen*. Bauingenieur 53 (1978) 264.
- Buchmann F.H.: *Die ersten eisernen Viadukte für die Eisenbahnen in Frankreich (1864-1869)*. Stahlbau 57 (1988) 193-197.
- von Büren Ch.: *Der 300-Meter-Turm*. Baufachverlag, Dietikon 1989.
- Clark E., Stephenson R.: *The Britannia and Conway Tubular Bridges*. London 1850.
- Culmann K.: *Graphische Statik*. Meyer & Zeller, Zürich 1866; 2. Auflage 1875.
- Eiffel G.: *Notice sur le viaduc de Garabit*. P. Dupont, Paris 1888.
- Eiffel G.: *Mémoire sur le viaduc de Garabit*. Baudry, Paris 1889.
- Eiffel G.: *La Tour de 300 mètres*. Edition privée, Paris 1900.
- Fairbairn W.: *An account of the construction of the Britania and Conway Tubular Bridges*. London 1849.
- Gaudard J.: *Croquis de ponts métalliques*. Ch. Béranger, Paris 1902.
- Glaus B.: *100 Jahre Eiffelturm*. Industriearchäologie 1/1989, 2-13.
- Godard T.: *Ponts et combles métalliques*. Baillière, Paris 1924.
- Koechlin M.: *Arc parabolique supportant une charge uniformément répartie sur toute sa longueur suivant l'horizontale*. SBZ Bd. 9 (1887) 63-64.
- Koechlin M.: *Applications de la statique graphique*. Baudry, Paris 1889, 2. Auflage 1898.
- Koechlin M.: *La tour de 300 mètres à l'exposition universelle de Paris*. SBZ Bd. 13 (1889), 146-148, Bd. 14 (1889) 7, 87-88, 110, 136-138, 141-144, 147-149, mit dazugehörigen Tafeln.
- Mehrtens Chr.: *Der Brückenbau sonst und jetzt*. SBZ Bd. 32 (1898), 71-77, 79-82, 86-91, 95-97, 109-112, 114-115, 117-122.
- Neyroud F.: *La tour Eiffel: une dame de fer centenaire*. Ingénieurs et architectes suisses 115 (1989) 379-384.
- Ritter F.: *Über die Druckfestigkeit stabförmiger Körper, mit besonderer Rücksicht auf die im steifen Fachwerk auftretenden Nebenspannungen*. SBZ Bd. 3 (1884) 37-39, 43-44, 49-51.
- Ritter W.: *Der elastische Bogen berechnet mit Hilfe der graphischen Statik*. Zürich 1886.
- Ritter W., Tetmajer L.: *Bericht über die Mönchenstein Brücken-Katastrophe*. SBZ Bd. 18 (1891) Sonderseiten 1-18 nach S. 133.
- Seyrig T.: *Le Pont-route Luiz 1er à Porto*. SBZ Bd. 8 (1886) 99-101, 105-107, 111-114, 117-119.
- Storch W.S.: *Die Port-Mann-Brücke in British Columbia, Kanada*. Der Stahlbau 34 (1965) 19-23.
- Stüssi F.: *Entwicklungstendenzen im Stahlbrückenbau*. SBZ 66 Jg. (1948), 1-5, 25-30.
- Tetmajer L.: *Die Gesetze der Knickungsfestigkeit der technisch wichtigsten Baustoffe*. Mitteilungen der Materialprüfungs-Anstalt am schweiz. Polytechnikum in Zürich, 8. Heft, Zürich 1896.