

L'esprit des ponts

Entretien avec Michel Virlogeux

par Ivan Jablonka

Quoi de plus trivial qu'un pont ? Pourtant, cette structure vivante doit être conçue, puis construite et, enfin, entretenue. Entretien avec un concepteur de ponts de légende, qui est aussi un homme de l'art.

Ancien élève de l'École polytechnique, ingénieur des ponts et chaussées, Michel Virlogeux est l'un des plus grands spécialistes mondiaux des ponts et viaducs. En 1980, il devient chef de la division des ponts en béton du Setra, le service technique du ministère de l'Équipement, et, en 1987, chef de la division des ponts en acier et béton. En 1995, il s'installe comme ingénieur consultant indépendant. Au cours de sa carrière, il a conçu une centaine de ponts, notamment le pont de Normandie (1995), le viaduc de Millau (2004), le pont de Térénez (2010), le pont Chaban-Delmas à Bordeaux (2013) et le pont Yavuz Sultan Selim sur le Bosphore (2015).

La Vie des Idées : Qu'est-ce qu'un pont ?

Michel Virlogeux : Un pont ou un viaduc, c'est ce qu'on appelle un « ouvrage d'art », au sens de l'art des ingénieurs. C'est une structure qui permet à une voie, une route, un chemin de fer, de franchir un obstacle important, comme une rivière, un bras de mer ou une vallée profonde.

Il y a structurellement trois types de ponts. Le plus ancien, le plus classique, c'est la voûte : une structure circulaire qui transmet les charges par compression, ce

qui permet de construire des voûtes en pierres ou en briques. Le plus célèbre, en France, c'est le Pont du Gard, un aqueduc romain construit au I^{er} siècle après J.-C. Les voûtes ont été faites par tranches successives, pour économiser le bois de charpente.

La deuxième solution est plus simple. C'est un élément, une poutre, qu'on vient poser sur deux appuis. Dans le cas d'une structure aussi simple, les charges, qui viennent s'appuyer sur la poutre, créent de la compression dans la partie supérieure de la poutre et de la traction dans la zone inférieure. Évidemment, pour cela, il faut que le matériau soit capable de résister à la traction. Des ponts à poutres, c'est ce qu'il y a de plus banal. Auparavant, on les construisait avec des troncs d'arbres, parce que le bois résiste bien à la traction. Aujourd'hui, on les fabrique en acier et en béton armé ou précontraint (la fonte résiste mal à la traction), les armatures et la précontrainte venant compenser le fait que le béton, par lui-même, résiste mal à la traction. On le complète par des armatures, afin qu'il puisse résister. Ce sont les ponts types. Sur une autoroute, des ponts à poutre, vous en avez tous les kilomètres. C'est le pont le plus banal qui soit. Il y en a des très grands, par exemple le pont de l'île de Ré.

Enfin, la dernière famille, ce sont les ponts à câbles. Les câbles sont des pièces en acier dont la résistance est quatre à cinq fois supérieure à celle d'une tôle de charpente. Les câbles vont reprendre les charges, et ce, de deux façons. Les plus anciens, ce sont les ponts suspendus, dans lesquels la structure porteuse est le grand câble, qui part d'un massif d'ancrage, lequel s'accroche dans le terrain. Le câble monte, se dévie en tête d'un pylône, redescend dans la grande travée, repasse sur l'autre pylône et va s'ancrer de l'autre côté. Le tablier, sur lequel passent les voitures, est suspendu à ce câble porteur par des petits câbles verticaux qu'on appelle les suspentes.

Plus récemment, dans les ponts à haubans, les câbles vont directement du tablier sur le pylône. C'est toute une série de haubans différents. Cela a un grand avantage par rapport au pont suspendu : les efforts sont uniquement internes. Avec une bonne conception, de part et d'autre d'un pylône, vous avez des câbles dans la grande travée et dans la travée de rive. Cela s'équilibre par la compression dans le tablier. Il n'y a plus d'efforts exercés sur le terrain.

La Vie des Idées : Comment conçoit-on un pont ?

Michel Virlogeux : La conception d'un pont est un processus extrêmement long. L'image de l'architecte qui prend son crayon et qui fait « tchac ! », c'est de la rigolade. Pour vous donner une petite idée, le pont de Normandie, entre les premières

études et la mise en service, il s'est écoulé dix-neuf ans ; le viaduc de Millau, dix-sept ans. C'est donc un processus par étapes.

On démarre par le choix du tracé – où l'on va mettre le pont –, parce que ce n'est pas du tout neutre dans un site difficile. Il faut évaluer le terrain, connaître les conditions de fondation, puisqu'il faut bien descendre les charges dans le sol ; étudier la direction et la force du vent ; et, dans des cas particuliers, envisager les séismes. On rassemble toutes les données nécessaires, ainsi que les données fonctionnelles (la largeur du pont, ce qui va passer dessus, etc.).

Quand on fait un travail classique, on regarde les solutions envisageables, d'abord de façon très simple, sans calculs, en se fondant sur l'expérience et les statistiques. Ensuite, dans le système français traditionnel (qu'on n'utilise plus tellement aujourd'hui), on faisait d'abord un avant-projet, soumis à une décision ministérielle, puis un projet plus détaillé. Par étapes, progressivement, on arrivait à un dossier d'appel d'offres, auquel les entreprises devaient répondre en faisant des propositions de prix et de méthode de construction, sachant que cette dernière devait être envisagée dès le projet. Ensuite, on passait à la construction.

Après, ce n'est pas fini : il faut entretenir les ouvrages. Le pont est une structure vivante, qui doit normalement avoir une durée de vie de cent ans. Donc on ne s'arrête pas quand le pont est mis en service. On doit le maintenir.

La Vie des Idées : Pouvez-vous décrire les méthodes de construction, ce qu'on appelle la « cinématique de construction » ?

Michel Virlogeux : Le plus simple consiste à fabriquer une travée et, avec des moyens lourds, à la prendre et à la poser sur des appuis. C'est la méthode élémentaire, qu'on utilise quelquefois pour de très grands ouvrages, par exemple en mer, quand on a des moyens nautiques avec de grosses digues. Il y a des ponts qui ont été construits avec des bateaux flottants à grues, capables de porter 8 à 9 000 tonnes.

On a ensuite de multiples méthodes. Une solution consiste à fabriquer le pont à terre et à le lancer vers l'avant. Cela peut être en béton précontraint ou en construction métallique. Par exemple, le viaduc de Millau, fabriqué sur les deux plateaux (le Causse rouge au nord et le Larzac au sud), a été lancé vers l'avant sur ses appuis définitifs, avec l'aide d'appuis provisoires intermédiaires, parce que les portées étaient trop grandes pour qu'on puisse lancer le pont d'un coup ; il se serait cassé la figure. Le pont a donc été lancé avec des moyens très spécifiques. Pour le viaduc de Millau, il a fallu

créer ce que l'entreprise a appelé des « translateurs », c'est-à-dire un système qui vient pousser – on rabaisse, on ramène le matériel –, avec tout un cycle de poussage qui doit être le même sur tous les appuis. C'est commandé par un ordinateur et cela marche très bien.

Il y a des choses plus compliquées. Pour prendre l'exemple du pont sur le Bosphore [le pont Yavuz Sultan Selim], on est parti en encorbellement. On avait fait les travées de rive sur des échafaudages au sol, de façon classique. On a construit progressivement de grands fléaux en acier. La portée du pont du Bosphore est de 1 408 mètres, c'est important ! Les voussoirs faisaient 24 mètres de longueur et pesaient 2 000 tonnes. Ils étaient levés à l'aide d'une paire de derricks. On les ajustait en géométrie pour que cela soit parfait. On mettait des soudures provisoires ; puis l'on soudait la liaison entre la partie déjà construite et les nouveaux voussoirs.

La partie centrale, elle, a été construite comme un pont suspendu. On avait déjà mis en place les grands câbles porteurs. Dessus, il y avait des chariots, et ces chariots venaient lever les voussoirs de 24 mètres. À partir d'une barge, à l'aide de ces chariots, on les levait sur les câbles et on venait les placer progressivement. La partie centrale du pont du Bosphore a donc été construite d'une façon différente.

La Vie des Idées : Quel est votre pont préféré ?

Michel Virlogeux : Il y a plusieurs ponts qui sont chers à mon cœur : le pont de Normandie et le viaduc de Millau, évidemment, sur lesquels j'ai passé une partie de la vie. Mais il y en a d'autres. Un pont extraordinaire et peu connu, c'est le pont de Térénez sur l'Aulne, un pont à haubans courbe. Il n'est pas si grand que cela, mais je peux vous dire que c'est très difficile à concevoir, parce que les haubans, eux, sont rectilignes. Faire un pont courbe avec des haubans, ce n'est pas facile. Il y a aussi le pont Chaban-Delmas à Bordeaux, qui est très beau. Enfin, il a le pont du Bosphore : c'est le plus gros que j'aie eu l'occasion de construire.

La Vie des Idées : Comment faire en sorte qu'un pont respecte l'environnement et la qualité du paysage ?

Michel Virlogeux : Je vais revenir deux mille ans en arrière, à Vitruve, le premier penseur de la construction. Sa devise, c'est « *utilitas, firmitas, venustas* » [utilité, solidité, beauté]. D'abord, il y a l'utilité, notamment l'utilité publique, qui consiste à ne pas gaspiller l'argent public. C'est aussi la question de la fonctionnalité : que veut-

on faire passer, quel obstacle doit-on franchir ? Vient ensuite la *firmitas* : il faut que le pont tienne.

La *venustas*, l'élégance, doit venir en plus des deux autres. Ce n'est pas la *venustas* qui doit passer la première ; c'est l'*utilitas*. Cependant, elle comprend deux aspects importants : l'inscription dans le paysage et la beauté intrinsèque. C'est l'ingénieur qui est le premier concepteur du pont, parce que c'est lui qui maîtrise les charges. La conception d'un ouvrage, c'est la façon dont on va conduire les charges, le poids propre de l'ouvrage, les charges routières ou ferroviaires, pour les transmettre progressivement aux appuis et les descendre dans le sol. Cela, il faut le faire en s'adaptant au paysage. On ne va pas prendre le pont qu'on a envie de faire et le « claquer » dans le paysage. Il faut qu'on regarde les solutions possibles et celles qui sont les mieux adaptées.

Dans le cas du pont de Normandie, il n'y avait pas de débat. Quand vous devez franchir 856 mètres, il faut faire un pont avec un tablier mince, parce qu'il faut résister au vent. Dans le cas du viaduc de Millau, c'était très différent : on pouvait faire beaucoup de choses. Mon idée personnelle, qui a ensuite été partagée par [l'architecte britannique] Norman Foster, était de traverser la vallée avec un ouvrage le plus mince possible, très transparent, de telle façon que l'ouvrage ne vienne pas écraser le paysage. On voulait un pont qui reste « calme », doux, avec une répartition régulière de portées.

Il y avait d'autres solutions, puisqu'il y a deux parties dans la vallée du Tarn, la partie profonde et un plateau. Il aurait pu être tentant de faire structure un peu exceptionnelle au-dessus de la partie profonde du Tarn et de passer plus simplement sur le plateau. Eh bien, non ! D'abord, il n'y aurait pas eu d'unité : on aurait eu un petit viaduc d'accès, un pont principal, un autre viaduc d'accès. Ensuite, on n'aurait pas eu ce que j'appelle le « calme » de l'ouvrage, qui vient passer progressivement. Il est donc nécessaire d'inscrire l'ouvrage dans le paysage.

Enfin, il faut que le pont soit beau. Là, c'est plutôt l'architecte qui va faire le travail. Dans le cas du viaduc de Millau, Foster a fait un travail tout à fait remarquable, d'abord en imposant deux ou trois choses qui n'étaient pas évidentes : donner l'impression que le viaduc pénètre dans les collines de part et d'autre ; construire les piles pour qu'elles semblent émerger du sol. Ce dernier aspect, c'est facile. En revanche, faire en sorte que le tablier pénètre dans le terrain, c'est compliqué, parce qu'on a les barrières de sécurité, les écrans anti-vent, etc.

Avec son équipe, Foster a travaillé sur le détail des formes, pour qu'en répondant aux choix techniques qui avaient été faits, on obtienne des formes belles, avec la lumière qui joue dessus. Les piles, par exemple, sont des octogones. Pour qu'on puisse les construire avec un matériel industriel, et rapidement – en gros, une levée tous les trois ou quatre jours –, il fallait quatre sections constantes en dimension et en direction, et quatre intermédiaires légèrement variables en dimension et en orientation. Au fur et à mesure des différentes étapes du projet, il y a eu entre quarante et quarante-cinq maquettes physiques de piles et de pylônes fabriquées par l'équipe de Foster.

La Vie des Idées : Un pont doit donc répondre à des exigences techniques et esthétiques. Y a-t-il un « style Virlogeux » ?

Michel Virlogeux : Je ne vais pas dire qu'il y a un « style Virlogeux », mais il est vrai que les ouvrages que je dessine souhaitent rester sobres. L'idée fondamentale, c'est que l'architecture – puisque je travaille toujours avec un architecte – doit venir exprimer la structure, la façon dont on fait passer les charges, depuis le tablier jusque dans les appuis. Il n'est pas question pour moi de faire de la fantaisie, des trucs qui font « pouf ! ». Non, au contraire, les gens doivent comprendre la structure, et ce, à travers des choses simples. C'est pour cela qu'il a été si facile de travailler avec Foster, qui partage les mêmes idées. Si vous regardez les bâtiments de Foster, ce sont des ouvrages qui sont d'une grande rigueur.

J'ai travaillé pendant très longtemps avec un architecte français malheureusement décédé, Charles Lavigne. J'ai dû faire une cinquantaine de ponts avec lui. Travailler avec Lavigne, c'était un plaisir, parce qu'il cherchait à exprimer le cheminement des efforts et à faire en sorte que les formes expriment la structure. Quelquefois, il lui est arrivé de dire : « On est sur une mauvaise voie, il faut changer, trouver autre chose. »

C'est arrivé par exemple sur un pont pas très important, mais très beau, qu'on a fait sur la Vienne, à Limoges. Tout à coup, il nous a dit : « Non ! Vous ne faites pas ce qu'on attend de vous. » On a repris les choses et on a fait un ouvrage différent sur le plan urbanistique. La municipalité de Limoges voulait que les habitants se réapproprient les rives de la Vienne. On a repris le projet de façon qu'on puisse passer des rives sur le pont, etc. On a créé un cheminement le long des branches de l'arc, pour que tous les cheminements soient possibles et que le pont devienne un lieu de promenade pour les habitants.

Pour aller plus loin :

- Un dossier sur les ponts : <https://anabf.org/pierredangle/dossiers/les-ponts>
- Sur le viaduc de Millau : <https://www.leviaducdemillau.com/fr>
- Sur la construction du viaduc de Millau :
<https://collections.citedelarchitecture.fr/notice/8415/viaduc-de-millau-les-armatures-metalliques-dune-pile>
<https://collections.citedelarchitecture.fr/notice/8432/viaduc-de-millau-un-translateur-en-action>
- Sur le pont du Bosphore : <https://www.youtube.com/watch?v=2y4O6lZ9CK4>

Conception et retranscription : Ivan Jablonka.
Réalisation et montage de la vidéo : Ariel Suhamy.

Publié dans lavedesidees.fr le 7 juin 2019