



ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE DE PARIS LA VILLETTE
ENSAPLV



SÉMINAIRE ACTIVITÉ ET INSTRUMENTATION DE LA CONCEPTION
AIC

RENDU INTÉRMÉDIAIRE DE RAPPORT DE MÉMOIRE

Pourquoi et comment optimiser une structure ?

Étude de l'évolution des discours architecturaux sur l'optimisation des structures en architecture.

PAR :

ROBIN RAUDRANT

DIRECTEURS DE MÉMOIRE :

FRANÇOIS GUÉNA

AURÉLIE DE BOISSIEU

PARIS, LE 9 JUIN 2016

Résumé

Lorsque nous parlons d'optimisation en structure, nous viennent parfois à l'esprit des images de lignes de contraintes dans un élément en béton armé, de poutre à inertie variable ou plus généralement de formes élancées que nous étiquetterions volontiers *high-tech*. L'optimisation peut alors apparaître comme un gadget stylistique au service de maîtres d'ouvrage fortunés.

Pourtant, une étude plus poussée des démarches d'optimisation nous montre, au contraire, que l'optimisation peut être un outil précieux à la conception architecturale – en particulier des structures - et un allié dans les choix de conception, lorsqu'il s'agit de se demander : quelle est la *meilleure* option ?

Rechercher le meilleur : c'est optimiser, du latin *optimus*, superlatif de *bonus*, ce qui est bien. Si l'optimisation est un outil au service de l'architecte, notre question est : pourquoi et comment optimiser une structure ?

Le mémoire adopte une position historique et théorique sur le sujet, proposant une analyse du passé avant d'élaborer des scénarios possibles de l'évolution de la question. L'apport de ce travail est de proposer une définition plus large, et peut être moins naïve, de l'optimisation en conception des structures : la présentant comme un outil de conception pouvant servir de nombreux buts.

Commentaire sur la version provisoire

Ce document est un mémoire d'étape, donc provisoire. Le travail de recherche est toujours en cours, notamment s'agissant du travail de documentation. En effet la majorité du corpus est composée de livres et de conférences dont je n'ai pu, pour l'instant, parcourir que les résumés. Néanmoins l'objectif est de présenter et d'organiser mon avancée dans ce travail de recherche.

Table des matières

Résumé.....	3
Commentaire sur la version provisoire.....	3
Introduction.....	5
Jeter un pont.....	5
Entre le passé et l'avenir.....	5
I – Définir l'optimisation des structures architecturales.....	6
L'optimisation en mathématiques.....	6
L'optimisation en architecture.....	7
II – Origine et histoire de l'optimisation des structures.....	8
III – Prospective : l'apparition de nouvelles contraintes.....	8
Conclusion.....	8
Bibliographie.....	8

Introduction

Jeter un pont

Si nous réunissions une infinité d'architectes pour concevoir une passerelle dans un environnement bien défini nous obtiendrions, très probablement, une infinité de réponses différentes. En particulier pour ce projet très simple, chaque architecte aura une idée précise de la structure idéale de son objet : structure métallique en treillis, en arc, en béton armé, suspendue, en bois, etc. Peut-on imaginer un outil pour nous aider à faire le *meilleur* choix parmi ces structures ?

Rechercher le meilleur : c'est optimiser, du latin *optimus*, superlatif de *bonus*, ce qui est bien. L'optimisation pourrait donc être cet outils. La conception d'un objet architectural étant un processus complexe, à la rencontre entre technique, fonctionnalité et art, il semblerait judicieux de l'utiliser pour nous aider à choisir parmi les très nombreuses options qui s'offrent à nous lors d'un processus de conception. Alors que l'optimisation dans le design peut trouver de multiples applications, nous restrindrions volontairement cette recherche à l'étude de la structure du bâtiment ; les raisons de ce choix sont historiques – la structure a été le premier domaine d'utilisation explicite de l'optimisation en bâtiment – et personnelles : la structure et sa conception étant un moteur de réflexion pour mon travail en architecture. L'objectif de ce mémoire est donc de comprendre pourquoi et comment optimiser une structure ?

Entre le passé et l'avenir

Il s'agit donc de se demander quelles sont les motivations et les moyens utilisés pour optimiser une structure. Notre hypothèse est la suivante : ces motivations et ces moyens ont grandement évolués en fonction des époques alors même que la processus de résolution d'un problème d'optimisation, dont l'origine est mathématiques comme nous le verrons, est resté identique. Cette recherche adoptera donc avant tout un point de vue historique sur la question, analysant le passé afin d'élaborer des scénarios possibles de l'évolution de la question.

Pour invalider cette hypothèse nous procéderons de la manière suivante :

- Dans un premier temps, nous étudierons l'origine mathématiques de l'optimisation. Nous définirons alors le processus d'optimisation appliqué à la conception en général, puis en particulier à l'architecture.
- Nous irons chercher les origines des démarches d'optimisation en construction. L'objectif est de recréer l'histoire de l'optimisation en architecture, particulière dans le domaine de la structure.
- Enfin, en nous appuyant sur nos observations, nous tenterons de construire des scénarios possibles de l'évolution de la question. Il s'agira de déterminer les enjeux auxquels une démarche d'optimisation pourrait répondre efficacement.

L'optimisation des structures est difficile à définir, l'apport de ce travail est de proposer une définition large de l'optimisation dans la conception des structures : en la présentant comme un outil de conception pouvant servir de nombreux buts, dans le passé comme à l'avenir.

I – Définir l'optimisation des structures architecturales

L'optimisation en mathématiques

Le terme optimisation (du latin *optimus*, superlatif de *bonus*, ce qui est bien) apparaît récemment dans la littérature scientifique.

À l'origine, il provient de la recherche mathématiques. Un des premiers problèmes d'optimisation mathématiques fut énoncé par le mathématicien français Gaspard Monge en 1781, le problème de « la brouette de Monge » : l'objectif est de trouver une méthode pour déterminer mathématiquement le chemin le plus court entre une somme de points donnée (comme un ouvrier déplaçant une brouette entre plusieurs remblais).¹L'optimisation est pensée avant tout comme un problème de maths appliquées.

C'est au mathématicien et économiste soviétique Leonid Kantorovich (prix Nobel d'économie en 1975) que l'on doit la première méthode d'optimisation pour répondre à ce problème dans les années 1930. Il ouvre ainsi le champs d'une plus large théorie de l'optimisation en mathématiques, et applique ses découvertes à la répartition des ressources dans l'économie soviétique. L'optimisation devient une branche spécifique des mathématiques. Résoudre un problème d'optimisation consiste alors à déterminer la ou les solutions satisfaisant à un objectif quantitatif, étant donné un ensemble de variables et de contraintes.²

Avec le développement de l'informatique à partir de la deuxième guerre mondiale, les domaines d'application de l'optimisation se multiplient : économie, ingénierie, énergie, etc. Le moteur de recherche Ngram de google nous donne un aperçue de la démocratisation du terme dans le corpus anglophone à partir de cette période, comme nous le montre la figure suivante :

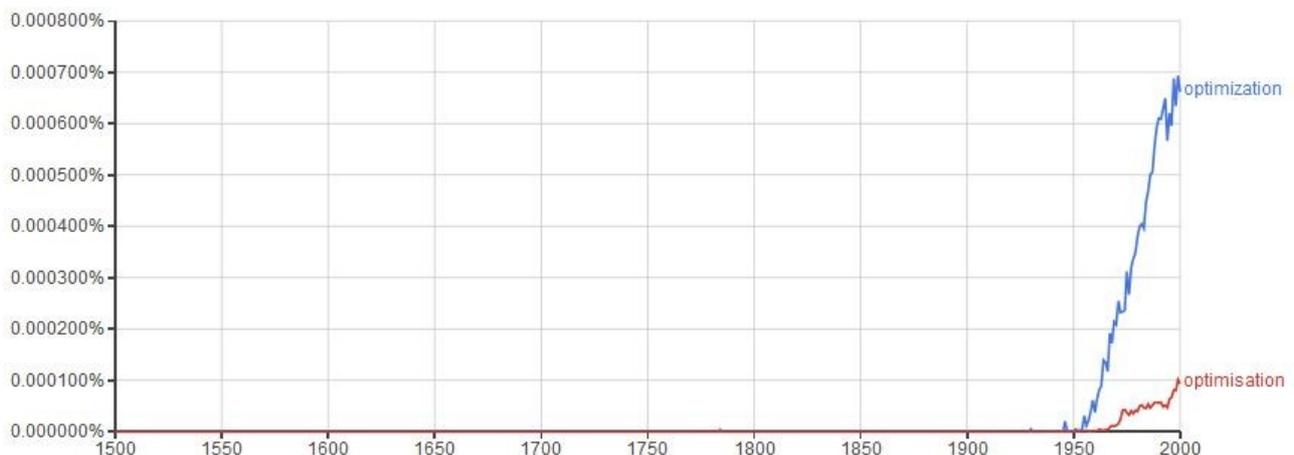


fig. 1,1 : apparition des occurrences « optimisation » et « optimization » dans l'ensemble du corpus des livres anglophones scannés par Google³ à ce jour.

1 Monge, Théorie des déblais et remblais, 1781

2 J. F. Bonnans, J. Ch. Gilbert, C. Lemaréchal, C. Sagastizábal (2006), *Numerical Optimization - Theoretical and Numerical Aspects*

3 Jean-Baptiste Michel, Yuan Kui Shen, Aviva Presser Aiden, Adrian Veres, Matthew K. Gray, William Brockman, The Google Books Team, Joseph P. Pickett, Dale Hoiberg, Dan Clancy, Peter Norvig, Jon Orwant, Steven Pinker, Martin A. Nowak, and Erez Lieberman Aiden. *Quantitative Analysis of Culture Using Millions of Digitized Books*. **Science** 2010

L'optimisation en architecture

Dès les années 1970, l'industrie aéronautique est la première à reprendre les éléments de la recherche mathématiques afin de développer une théorie de l'optimisation pour le design : le Multi-disciplinary design optimization (MDO)⁴. Ils s'agit donc de mathématiques appliquées au design d'objets. L'originalité de la méthode est dans la formulation du problème, directement hérité des problèmes d'optimisation en mathématiques, et qui prend la forme suivante :

Soit un élément de design donné. Afin d'optimiser cet objet, il convient de déterminer 5 éléments :

- Les objectifs. Un objectif est une donnée numérique qui doit être maximisée ou minimisée.
- Les contraintes. Une contrainte est une condition qui doit être satisfaite pour que le résultat soit recevable.
- Les variables de design. Une variable est un élément contrôlable, un paramètre, qui doit pouvoir être changé dans un domaine donné afin de satisfaire les objectifs.
- La forme standard. Une fois que les objectifs, contraintes et variables sont exprimés. Le designer doit établir l'algorithme traduisant son optimisation.
- Le modèle. Le modèle réunit tous les éléments précédents afin de simuler l'optimisation.

Ce processus de conception d'une optimisation s'applique également aux structures architecturales, s'agissant d'objets conçus. On observe également qu'il s'agit d'une méthode très libre : elle ne fixe aucun des éléments : objectifs, variables ou contraintes. Néanmoins, cette méthode appliquée au design d'objet a des limites : seuls peuvent être optimisés les éléments *quantifiables* de la structure (poids, coût, dimensions, matière, caractéristiques visuelles, topologie, etc.). On ne pourrait optimiser, par exemple, la beauté ou l'idée artistique d'un bâtiment ; cela n'aurait pas de sens. Également, réaliser un modèle de simulation de l'optimisation peut être un exercice difficile, et l'objet du modèle d'optimisation est bien souvent de simplifier la structure tout en restant en cohérence avec la démarche de conception.

C'est cette définition que nous considérons comme processus invariant de résolution d'un problème d'optimisation, dans la mesure où elle est directement héritée des méthodes d'optimisation en mathématiques qui sont à l'origine même de la théorie de l'optimisation.

La méthode de l'étude consiste donc à utiliser ce processus invariant que nous venons d'identifier comme grille de lecture de l'histoire de l'optimisation en architecture. Il s'agit, dans un premier temps, de chercher dans l'histoire des processus d'optimisations ou des embryons de processus d'optimisation des structures. Et dans un deuxième temps de voir s'il est possible d'y retrouver les éléments de la grille de lecture définissant une optimisation de design. Car en effet : en connaissant les objectifs et les contraintes de ces méthodes d'optimisation, nous répondrons au *pourquoi optimiser*. En en connaissant les variables et le modèle, nous répondons au *comment optimiser*.

4 Avriel, M., Rijckaert, M.J. and Wilde, D.J. (eds.), *Optimization and Design*, Prentice-Hall, 1973.

II – Origine et histoire de l'optimisation des structures.

III – Prospective

Conclusion

Bibliographie

- J.S. CRUZ Paulo. Structures and architecture, proceeding of the first international conference on structures and architecture, ICSA 2010, Guimaraes, school of architecture, university of Minho, Portugal, CRC press, 21-23 july 2010.
- FRAGOMENI Sam, VENKATESAN Srikanth, T.K. LAM Nelson, SETUNGE Sujeeva. Incorporating sustainable practice in Mechanics of Structures and materials, Melbourne, University of Victoria, Australia, CRC press, 7-10 december 2010
- AVRIEL, M., RIJCKAERT, M.J. and WILDE, D.J. (eds.), *Optimization and Design*, Prentice-Hall, 1973.
- CHOPPIN Julien, DELON Nicola, Matière grise, Paris, Éditions du Pavillon de l'arsenal, 2014.
- DESHAYES Philippe « De l'influence de l'architecture sur les matériaux », in Séminaire sur les processus de conception, Paris, MELTM, avril 1992
- SANDORI Paul. Petite logique des forces, Paris, Le Seuil, 1943, 203p.
- PICON-LEFEBVRE Virginie, SIMONNET Cyrille. Les architectes et la construction. Paris : Éditions Parenthèses, collection eupalinos, 2014, 189p.
- LAVALOU Armelle. Jean Prouvé par lui-même, Paris : Éditions du Linteau, 2001, 139p.