Zeitschrift: Tracés : bulletin technique de la Suisse romande
Herausgeber: Société suisse des ingénieurs et des architectes
Band: 132 (2006)
Heft: 20: Complexité

Artikel: Stratégies de recherche pour le génie civil
Autor: Hohler, Anna / Smith, Ian F.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-99511

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 11.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Anna Hohler, Ian F. C. Smith

Stratégies de recherche pour le génie civil

Les ingénieurs considèrent parfois à tort que la notion de complexité ne les concerne pas. Mais la complexité est loin d'être réservée aux mathématiques ou à l'informatique, et les professionnels du génie civil y sont confrontés au quotidien, même s'ils n'en sont pas forcément conscients. Tour d'horizon avec Ian F.C. Smith, responsable du Laboratoire d'informatique et de mécanique appliquées à la construction (IMAC) de l'EPFL et lauréat du « Computing in Civil Engineering Award 2005 », attribué par l'Association américaine de génie civil (ASCE) pour la première fois à un chercheur en dehors des Etats-Unis.

L'ingénieur civil doit affronter au quotidien un monde ouvert. S'il conçoit un ouvrage, il est obligé de prendre en compte, par exemple, les situations économiques et politiques : des éléments extérieurs à sa profession, mais qui le concernent au premier chef. « Oui, confirme Ian Smith[1], le génie civil ne peut pas être exercé dans un monde clos. Par conséquent, LA bonne solution à tous les cas n'existe pas et il est rare qu'il y ait une unique bonne solution dans une situation donnée. Dans notre domaine, nous sommes confrontés à la complexité tous les jours. Toutefois, la plupart des professionnels n'en sont pas conscients, et fonctionnent comme si leur expérience seule pouvait résoudre les problèmes combinatoires caractéristiques de défis tels que la conception et le diagnostic de grands ouvrages. » Ian Smith estime que « la plupart des ingénieurs en génie civil, dans tous les pays du monde, ne sont pas conscients du fait qu'ils résolvent, d'une manière quasi quotidienne, des problèmes combinatoires très complexes d'un point de vue mathématique ».

Plus qu'une calculatrice

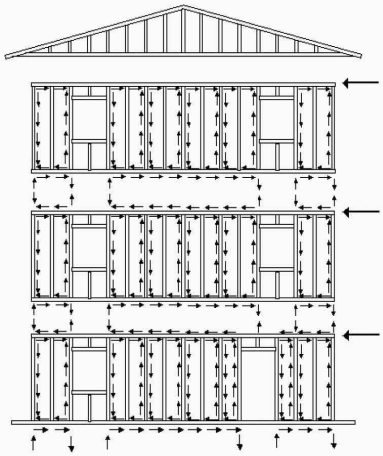
« Par ailleurs, continue-t-il, nous sommes confrontés à un paradoxe : les ingénieurs civils ont été les premiers, dans les années 1950, à saisir l'importance de l'informatique dans leur

[1] Voir aussi l'entretien avec Ian F.C. Smith dans TRACÉS n° 15/16 2003 : « Derrière la tenségrité », pp. 7-10. Dans le même numéro : « Vers des systèmes intelligents : l'exemple d'une structure active de type tenségrité », par Etienne Fest, Bernd Domer et Ian F.C. Smith (pp. 13-18)

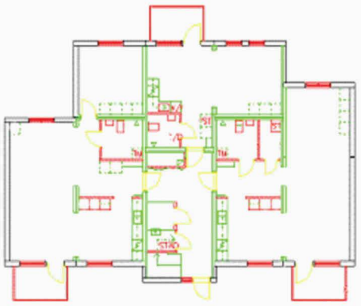
1

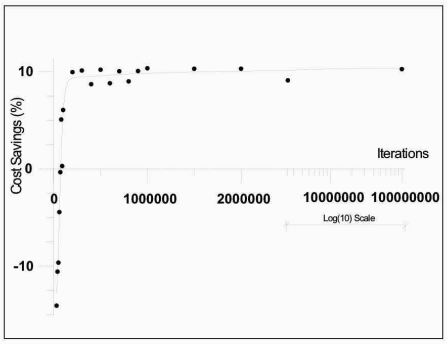
Fig. 1 : Vue de deux bâtiments de l'EPFL. Dans la vie quotidienne de l'ingénieur civil, les problèmes combinatoires sont omniprésents : le nombre de possibilités de conception est très grand même pour des constructions simples.

Fig. 2 et 3 : Configuration et placement de murs en bois pour un bâtiment en Suède. Il est impossible d'évaluer toutes les solutions possibles même avec l'ordinateur le plus puissant.



2





3

profession. Par exemple Ken Livesley, à Cambridge, a été le premier à utiliser un ordinateur pour analyser un cadre en 1956. Aujourd'hui, il faut avouer que nous sommes les derniers – dans le domaine du génie civil, la pénétration de l'informatique dans les processus de prise de décisions clés est extrêmement faible. Ceci est dû entre autres à la complexité des défis et à l'incapacité des produits informatiques à soutenir la prise de décisions clés. Il en résulte que beaucoup d'ingénieurs civils pensent que les ordinateurs ne sont en fait rien d'autre que de grandes calculatrices ou des aides à la visualisation. Ils se trompent. Certes, l'informatique ne va jamais remplacer un professionnel, mais il est évident qu'elle va jouer un rôle primordial dans notre métier. L'ordinateur nous a permis de faire des choses impossibles auparavant. »

Ian Smith explique que tout ingénieur se voit obligé de résoudre des problèmes inverses, qui demandent de partir d'une situation donnée pour élaborer, par exemple, un diagnostic ou une conception. « Si vous représentiez tout le problème sans raccourci et sans règle pratique, vous seriez confrontés très vite à des problèmes face auxquels même l'ordinateur le plus rapide du monde ne vous serait d'aucune aide sans stratégies avancées. Il n'est plus possible de générer toutes les solutions puis de les tester avec des critères fixes : le nombre de solutions possibles augmente de manière exponentielle avec la taille du problème. La réalité vous place alors, face à un problème donné, devant plusieurs millions de solutions. Comment choisir, étant donné que même une machine extraordinairement puissante aurait besoin de plusieurs centaines de siècles pour effectuer tous les calculs ?[2] »

Stratégies de recherche

La méthode du gradient, qui consiste à se déplacer dans un espace de solutions en utilisant la dérivée de la fonction objective, peut échouer à cause de la présence de minima multiples. Il faut alors avoir recours à des méthodes stochastiques, qui utilisent des stratégies spéciales pour identifier de bonnes solutions sans effectuer un nombre excessif de calculs. Ian F. C. Smith présente trois méthodes de recherche stochastique : le recuit simulé, les algorithmes génétiques et le « Probabilistic Global Search Lausanne » ou PGSL, développé à l'EPFL/IMAC en 2003.

Le recuit simulé est une forme de recherche point par point basée sur une analogie du recuit des métaux. Quand la température est élevée, il arrive que la recherche continue sur une évaluation qui est moins bonne que celle du point précédent. Par contre, lorsque la température baisse, la probabilité qu'une solution moins bonne soit adoptée pour la suite diminue. Quand la température est gelée, l'itération s'arrête. Comme dans le recuit d'un métal, la température est élevée au début de la recherche ; après un certain temps, elle baisse graduellement.

Les algorithmes génétiques sont des algorithmes d'optimisation qui s'appuient sur des techniques dérivées de la génétique et des mécanismes d'évolution de la nature proposés par Darwin : croisements, mutations, sélections, etc. Ces algorithmes ont été utilisés pour de nombreuses applications pratiques de taille moyenne avec succès.

[2] L'ordinateur quantique va probablement offrir, dans certains cas, des performances plus efficaces, mais ceci sera limité à un petit pourcentage de tâches.

Fig. 4 : Structure de tenségrité composée de cinq modules, sans actuateurs (Photo Alain Herzog)

(Tous les documents illustrant cet article ont été fournis par Ian F.C. Smith)

Densité de probabilités

L'algorithme PGSL[3] échantillonne l'espace de recherche en utilisant une fonction de densité de probabilités (FDP). En se basant sur l'hypothèse que de meilleurs ensembles de solutions ont plus de chance de se trouver dans le voisinage de bons ensembles de solutions, il s'agit de procéder, pendant l'évaluation de solutions, à une mise à jour constante de la FDP. PGSL a l'avantage d'être moins sensible à la taille du problème que les algorithmes génétiques. Ian F. C. Smith : « Cette méthode a permis d'évaluer un ensemble de solutions – plus précisément 10^{250} ! – pour la construction de murs en bois d'un fabricant suédois. En deux minutes, l'algorithme PGSL a trouvé la solution mise en avant par un expert. En vingt minutes, il a identifié une solution qui coûte 10% de moins et qui a permis à l'entreprise de doubler sa marge ! » Toujours est-il qu'il faut, avant de pouvoir appliquer cette méthode, disposer d'une formule fiable pour le coût de fabrication.

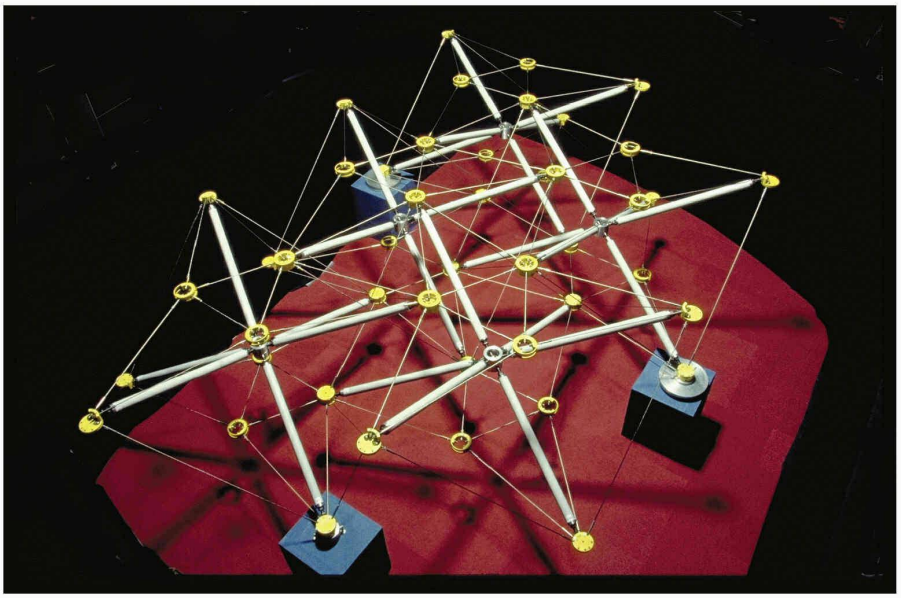
Affronter les problèmes complexes

« Le mot complexité, en mathématique et en informatique, est un terme très spécifique et fondamental », continue Ian F. C. Smith. « Ce n'est pas pour rien qu'informatique, en anglais, se dit « computer science ». Je donne un cours à ce sujet aux étudiants en troisième année, notamment au sujet de la complexité calculatoire (ou la classification des problèmes combinatoires), en guise d'introduction aux défis importants de notre profession. Aujourd'hui, l'ingénieur n'affronte pas vraiment les problèmes complexes avec toutes leurs difficultés mais les contourne grâce à son expérience, parfois grâce à une réutilisation et une adaptation d'un cas précédent. Souvent cette stratégie fonctionne très bien. Mais pour regarder ces difficultés en face, avec un certain recul, l'informatique s'avère intéressante. Elle peut générer ce à quoi l'homme n'a pas pensé. Elle peut provoquer chez l'ingénieur le « ah oui ! » qui suffit pour déclencher une réflexion qui va l'amener vers des solutions inédites. »

Anna Hohler

Ian F. C. Smith, dr ing. civil
EPFL-ENAC-IS-IMAC
GC G1 507 (bâtiment GC)
Station 18, CH – 1015 Lausanne

[3] Voir B. Raphael et I.F.C. Smith, « A direct stochastic algorithm for global search », *Journal of Applied Mathematics and Computation*, Vol. 146, No 2-3, 2003, pp. 729-758



4