



HAL
open science

La simulation distribuée pour le design et la conception des systèmes

Franck Varenne

► **To cite this version:**

Franck Varenne. La simulation distribuée pour le design et la conception des systèmes. *Turbulences*, 2019, 4, pp.31-36. halshs-02179895

HAL Id: halshs-02179895

<https://shs.hal.science/halshs-02179895>

Submitted on 21 Mar 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

La simulation distribuée pour le design et la conception des systèmes

Franck Varenne - Université de Rouen - franck.varenne@univ-rouen.fr

Texte auteur écrit en novembre 2018 - Paru dans la revue *Turbulences*, n°4, Déc.-Janv. 2019, ISSN 2609-6315, pp. 31-36. Revue en accès libre, morte en 2021.

Page historique disparue : <http://www.symbolon.consulting/bibliotheque/Turbulences/turbulences%204.pdf>

Simuler par ordinateur consiste en le fait de recourir à une représentation discrète d'un système ou d'un formalisme, de l'y faire traiter pas à pas et de manière intensive par l'ordinateur. Pendant longtemps la simulation sur ordinateur s'est limitée au calcul approché d'un modèle formel ou d'une loi mathématique non soluble à la main.

Ainsi, le modèle formel ou la loi mathématique était unique et relativement homogène. Sa formulation complète précédait la simulation. En architecture, par exemple, la conception assistée par ordinateur et la simulation numérique ont d'abord pris majoritairement la suite des techniques - déjà classiques au 19^{ème} siècle - de calculs approchés de structures par éléments finis. Or, pour ce genre de technique, certes toujours employée de nos jours, il faut pouvoir disposer de lois mathématiques explicites, en petit nombre et valant à échelle agrégée. Ces lois sont souvent issues de la mécanique et de la physique, comme celles qui sont en usage par exemple en résistance des matériaux.

L'histoire de l'architecture et du design montre que pour pouvoir recourir à de telles lois, il a souvent été nécessaire de limiter les bâtiments et objets conçus à des formes calculables – au moins numériquement – et à des matériaux suffisamment homogènes. Rétrospectivement, on peut dire que ce type de conception contrainte par les représentations mathématiques calculables a trouvé sa justification dans une certaine philosophie fonctionnaliste qui a parfois prévalu, dans l'après-guerre, en théorie de l'architecture et du design.

Ce type de rationalisation *a posteriori* ne paraît plus nécessaire. Aujourd'hui, il est de notoriété publique que les capacités d'une représentation d'architecture discrétisée - en termes de puissance de calcul au moins - rendent toutes les formes que l'on peut concevoir, y compris les plus exotiques, à la fois numériquement calculables et testables sur des maquettes numériques, pour peu que les matériaux employés restent suffisamment homogènes et prévisibles dans leurs propriétés.

Cependant, il faut aussi comprendre que la simulation de systèmes va plus loin aujourd'hui. Elle ne propose pas uniquement un progrès en termes de puissance de calcul pour une telle approche simplement numérique. Car les conceptions d'objets et de systèmes composites et fortement hétérogènes peuvent être, elles aussi, simulées. Mais cela ne se fait plus en passant par un modèle formel unique, préalable et que l'on discrétise ensuite. Avec l'essor de d'un type particulier de programmation informatique notamment, dite programmation par objets, à

partir des années 1990, il s'est diffusé l'habitude de représenter les systèmes directement à l'échelle élémentaire, c'est-à-dire élément par élément ou module par module, sans nécessaire représentation préalable, à échelle agrégée, des relations générales entre les éléments. Les règles d'interaction locales entre éléments sont ainsi directement représentées dans le programme de simulation. Ces règles ne sont donc plus des discrétisations approchées de lois générales préalablement connues et imposées d'en haut.

L'approche par les règles locales plutôt que par les lois globales en simulation des systèmes a une incidence considérable sur les théories et pratiques contemporaines de conception. Cette pratique de conception procédant du bas vers le haut - *bottom-up* - présente un grand nombre d'intérêts techniques et méthodologiques. J'ai montré dans mon travail épistémologique¹ que l'apport le plus fondamental, sans doute, de ce type de simulation réside dans sa capacité à entrelacer des formalismes de natures différentes - i.e. des formalismes dont les axiomatiques ne sont pas mathématiquement mais seulement informatiquement compatibles - et donc des propriétés des éléments du système très différentes et représentées pour cela de manière très hétérogène.

Ici, en guise d'illustrations, j'évoquerai simplement et brièvement deux domaines qui ont recours à une telle pratique de simulation distribuée : l'architecture computationnelle et l'ingénierie morphogénétique.

Dans un article sur l'architecture et le design computationnel², tout d'abord, en commentant en particulier l'œuvre de l'architecte Alisa Andrasek, j'ai montré comment l'approche de simulation par des règles hétérogènes permet d'intégrer explicitement des contraintes à la fois physiques et axiologiques, c'est-à-dire des contraintes à la fois naturelles et culturelles, dans la maquette numérique d'un projet en architecture. Au cours d'une simulation de ce type, des normes environnementales, juridiques ou esthétiques de tous ordres peuvent en effet être littéralement entrelacées, pas à pas, avec des lois physiques de résistance de matériaux, par exemple. La forme globale résultante n'est nullement prédictible à partir d'un modèle mathématique unique mais elle représente bien, elle aussi, une forme de choix optimal prenant en compte les différentes contraintes. Par ailleurs, l'hétérogénéité des espaces d'implantation des bâtiments et leur non isotropie (orientation, course du soleil) peuvent aussi être aisément pris en compte pour le choix différencié des matériaux de construction pour chaque élément en interaction dans le système. Ce mode de conception est plus en accord avec une époque qui réclame non seulement une architecture fractale - i.e. où nature et culture sont davantage imbriquées à chaque échelle - mais, davantage encore : une architecture ouverte à la singularité, à l'hétérogénéité des lieux et des demandes des populations comme des demandes environnementales à la fois spécifiques et globales.

¹ *From Models to Simulations*, Londres, Routledge, 2018.

² Franck Varenne, "The Nature of Computational Things: Models and Simulations in Design and Architecture", in Marie-Ange Brayer, Frédéric Migayrou (eds.), *Naturalizing Architecture*, Orléans, HYX éditions, 2013, p. 96-105, ISBN 978-2910385828. En accès libre : <https://hal.inria.fr/hal-01089648/document>

Dans un article collectif portant sur l'ingénierie morphogénétique³, René Doursat, mes collègues et moi-même sommes revenus sur la façon dont cette pratique de simulation distribuée pourrait nous donner une meilleure compréhension des phénomènes émergents *bottom-up* comme il en existe déjà en biologie mais aussi en robotique en essaim. Malgré le caractère paradoxal de cette annonce, en effet, il se pourrait que l'on parvienne bientôt à « programmer l'émergence » dans des systèmes que l'on conçoit d'abord par simulation distribuée : ainsi de tels systèmes conçus par auto-organisation - donc avec une grande autonomie conférée aux éléments - pourraient malgré tout être dirigés et bénéficier d'un caractère fonctionnel précis comme d'une haute adaptabilité. L'origine de la différence entre les phénomènes classiques d'émergence où l'on a affaire à des interactions nombreuses entre éléments donnant lieu à l'échelle supérieure à des motifs réguliers (par exemple des tâches sur la fourrure d'un animal) et les phénomènes d'émergence donnant naissance à des formes plus complexes, à la fois architecturées et fonctionnelles, pourrait être élucidée si l'on parvient effectivement à simuler de façon distribuée - et contrôlée par programme - l'émergence de telle forme architecturée et si l'on parvient ensuite à mesurer systématiquement et objectivement la valeur fonctionnelle de ces formes architecturées. Un motif émergent architecturé se distingue en effet d'un simple motif émergent homogène. C'est celui dans lequel les éléments sont hiérarchiquement ordonnés et ont, pour le motif, un rôle d'importance variable : ainsi d'une clef de voute dans une voute architecturale. La notion de fonction, on le voit, émerge donc également dans ce contexte. Dans cet article, nous avons proposé quelques rapprochements et quelques pistes. Il peut être intéressant de suivre à cet égard les travaux actuels de René Doursat et de ses collègues⁴ en ingénierie morphogénétique.

³ Franck Varenne, Pierre Chaigneau, Jean Petitot, René Doursat, "Programming the Emergence in Morphogenetically Architected Complex Systems", *Acta Biotheoretica*, Springer Verlag, 2015, 63 (3), p. 295-308, [10.1007/s10441-015-9262-z](https://doi.org/10.1007/s10441-015-9262-z), http://doursat.free.fr/docs/Varenne_et_al_2015_mac3_ActaBio.pdf

⁴ <http://doursat.free.fr/>