



SCAN'16 Toulouse

Séminaire de Conception Architecturale Numérique

Mètre et paramètre, mesure et démesure du projet

Sous la direction de Jean-Pierre Goulette et Bernard Ferries

PUN - Editions Universitaires de Lorraine.

ISBN: 978-2-8143-0289-1

Titre de la publication :

Modulation de l'objet - Corrélation numérique entre force, forme et matière

Auteurs :

Samuel Bernier-Lavigne



Cette publication (présentée dans ce document en version auteur acceptée), est parue dans les actes du Séminaire de Conception Architecturale Numérique SCAN'16 – Toulouse - *Mètre et paramètre, mesure et démesure du projet*, 07-09 septembre 2016, Toulouse

Tout usage du contenu de cette publication doit mentionner la référence de l'ouvrage, du titre et de(s) auteur(s).

Modulation de l'objet

Corrélation numérique entre force, forme et matière

Samuel Bernier-Lavigne

École d'architecture de l'Université Laval, Canada
Samuel.bernier-lavigne@arc.ulaval.ca

RÉSUMÉ. Cet article étudie l'influence du concept de modulation, tel qu'énoncé par le philosophe Gilbert Simondon, sur la génération numérique de l'objet architectural. L'utilisation de routines algorithmiques d'optimisation topologique et d'imprimantes 3d à multi-matériaux permettra à l'architecte de manipuler la relation métastable entre forme, force et matière, tout en considérant ses intentions conceptuelles.

MOTS-CLÉS : Modulation, Architecture numérique, Optimisation topologique, impression 3d, multi-matérialité.

ABSTRACT. This paper explores the influence of the concept of modulation, as stated by Gilbert Simondon, through the digital design of the architectural object. Using topological optimization algorithms and multi-materials 3D printers, the architect will be able to grasp the metastable relation between form, force and matter, without leaving his conceptual intentions aside.

KEYWORDS: Modulation, Digital design, Topological Optimization, 3d printing, Multi-materiality.

Introduction

Depuis la relecture matérialiste de l'œuvre de Gilles Deleuze, par le philosophe Manuel DeLanda dans *Intensive Science and Virtual Philoso-*

phy, nous avons vu naître l'idée d'un régime plat des objets ; une ontologie plate¹. Soudainement, les hiérarchiques s'effondrent pour laisser place à l'égalité de " tout ce qui est individué ", comme l'expose Tristan Garcia. Ainsi : " une bouture d'acacia, un gène, une image de synthèse, une main qu'on peut greffer, un morceau de musique, un nom déposé ou un service sexuel [deviennent] des choses comparables "(Garcia, 2010 : p.7). Dans ce contexte où les objets se trouvent maintenant côte à côte, il semble tout de même nécessaire d'établir une certaine classification, ou du moins spécifier la terminologie, afin que le discours développé ici soit cohérent. Effectuons d'abord un premier contraste entre les objets non matériels et les objets matériels (Harman, 2010 : p.60). Parmi les éléments de ce dernier groupe, nous dissociions les objets naturels, ceux qui sont générés par croissance et évolution, des objets créés par l'homme, donc artificiel. Cet article s'intéressera principalement aux objets conçus et fabriqués ; c'est-à-dire aux objets matériels artificiels. Cette distinction ne présuppose aucunement l'idée que ces objets soient supérieurs ou inférieurs aux objets matériels naturels, ou même aux objets non matériels, mais sert plutôt à distinguer les objets sur lesquels se fonde la discipline de l'architecture ; eux qui constitueront la source de notre réflexion dans cet article.

Objet en relation vs Objet en non-relation

De là, analysons l'influence d'un tel aplatissement ontologique sur les récentes théories liées à la conception architecturale, avec un regard particulier sur les processus constitutifs de la forme et la matière de l'objet. Ce dernier point représente l'élément primordial de notre intervention. Un débat intéressant a lieu actuellement entre les architectes que l'on pourrait qualifier de " relationnistes " et ceux qui prônent une ontologie orientée objet (OOO)². Cet affrontement idéologique soulève un questionnement complexe, portant sur l'autonomie de l'objet architectural.

D'abord, l'approche relationniste, découlant entre autres choses d'une interprétation architecturale de la philosophie Deleuzienne, est principalement intéressée par les processus génératifs sous-jacents à l'objet, tels

¹. Ang. *Flat Ontology*

². Le *relationisme* est une position théorique qui explique l'état d'un système par son rapport au contexte. De nombreux architectes contemporains utilisent le terme en référence aux projets de la première ère du numérique, où tout semble formellement et fluidement interconnecté.

les flux, les intensités, les connexions. Les projets qui en résultent sont alors entièrement dépendants des relations au réseau qui les définissent. Les formes architecturales deviennent alors informées ; soit par l'influence de forces contextuelles sur des corps mous³, par une série de déformation topologique, ou par des paramètres associant des composants distribués sur une surface avec leur environnement immédiat (Teyssot & Bernier-Lavigne, 2011 : p.67-73). À quelques reprises, les paramètres liés à la matérialité viendront aussi informer la conception, entraînant ainsi une " architecture performante ", souvent expliquée comme un système matériel inspiré des structures biologiques⁴. La version la plus extrême du relationnisme a fait surface dans les dernières années, à travers le " style " *Parametricisme* de Patrick Schumacher, qui théorise une architecture comme système de communication, où cette dernière serait la seule entité fondamentale à considérer. Cette " ontologie radicalement plate, mais aussi radicalement relationnelle " (Schumacher, 2012 : p.100) soulève le problème suivant, comme le mentionne Graham Harman dans son texte *Objets et architecture* : " les entités [dans cette ontologie relationnelle] n'ont pas de réalité autonome, elles tiennent leur réalité des choses avec lesquelles elles sont en relation " (Harman, 2013 : p.235). Comme si les propriétés de l'objet seraient : " vaporisés dans l'empire de l'interconnexion infinie " (Harman, 2010 : p.102).

En opposition, on trouve à l'autre extrémité du spectre théorique l'ontologie orientée objet qui vise avant tout à ce que les : " entités concrètes redeviennent un problème philosophique central " (Harman, 2002 : p.49). En rejetant le corréalisme⁵, Quentin Meillassoux présente une philosophie où les objets peuvent être abordés " en soi " (Meillassoux, 2006 : p.18-19), au centre d'un schème métaphysique qui requiert, de notre part, d'admettre qu'ils n'existent pas seulement en rapport à nous (Bogost, 2012 : p.14). Ainsi s'ouvre une étude philosophique sur l'existence des objets. Par le fait même, ces derniers gagnent une autonomie existentielle, et cela questionne nécessairement les relations qu'ils entretiennent entre eux, avec leur contexte et finalement, avec nous. Gra-

³. Ang. *Soft bodies*.

⁴. Voir les nombreuses recherches menées par Achim Menges à l'*Institute for Computational Design* de l'Université de Stuttgart. <http://icd.uni-stuttgart.de>

⁵. " Par " corréalisme " nous entendons l'idée suivant laquelle nous n'avons accès qu'à la corrélation de la pensée et de l'être, et jamais à l'un de ces termes pris isolément. Nous appellerons donc désormais *corrélationalisme* tout courant de pensée qui soutiendra le caractère indépassable de la corrélation ainsi entendue. " (Meillassoux, 2006 : p.18).

ham Harman expose dans le détail une version hermétique de l'objet, par une non-relationnalité des choses (Harman, 2013 : p.238). De son côté, Timothy Morton va d'une argumentation plus nuancée, à la limite du relationnisme, en définissant le concept de *mesh*. Celui-ci représente une sorte de toile sans centre ni limites, à travers laquelle tous les objets vivants et non vivants sont interconnectés (Morton, 2010 : p.28). Une analyse de ce concept nous révèle qu'il s'apparente davantage à l'idée de la symbiose, plutôt qu'au holisme comme le laisse sous-entendre sa définition. Cela s'explique par une faible connectivité⁶ entre les éléments du *mesh*, signifiant que les objets appartiennent à un simple et même réseau horizontal, ce que l'on a initialement qualifié de régime plat des objets (Harman, 2012 : p.17). Cela exprime aussi que les éléments du *mesh* sont en interaction avec certains autres, sans nécessairement être redevable à la totalité. C'est ainsi qu'ils agissent en symbiose puisque les objets ne sont pas réduits seulement à leurs relations, grâce à ce maillage qui supporte un certain degré de séparation et de différence. Par le fait même, l'objet perd malencontreusement une partie de son autonomie, comme l'explique Morton : " rien n'existe complètement par lui-même, et donc rien n'est entièrement " lui-même ". " (Morton, 2010 : p.15).

Comme la majorité des échanges entre philosophie et architecture, l'influence de l'ontologie orientée objet pour l'architecte se situe principalement au niveau de la métaphore pour la création du projet. Toutefois, son plus grand bénéfice pour notre discipline est celui de recentrer la recherche et la création sur l'objet architectural même ; où ce dernier est envisagé comme un élément autonome. Mark Foster Gage, professeur à Yale et architecte, va même jusqu'à suggérer que cette ontologie constitue une sorte d'antidote aux différents maux qui paralysent la discipline architecturale aujourd'hui (paramétricisme, pression économique et politique, développement durable, etc.)⁷. Que l'on soit sceptique ou non face à cette déclaration, l'on est forcé d'admettre que l'architecture peut se justifier par son unique existence, par la conception spatiale et formelle

⁶. Ang. *Weak connectivity*. Contrairement à une connectivité robuste (ang. *Strong connectivity*) où tous les objets seraient alors en contact avec tout le reste.

⁷. Cette déclaration de Mark Foster Gage n'est pas surprenante, puisque ce dernier est un des plus fervents détracteurs du Parametricisme. Il a d'ailleurs eu plusieurs discussions animées avec Patrick Schumacher à travers une série d'articles publiés dans le Fulcrum (the AA's weekly free sheet) : Issue 18, Mark Foster Gage, Project Mayhem, et la réponse dans Issue 19, Patrick Schumacher, Convergence vs Fragmentation as Condition for Architecture's Societal Impact, en 2011.

de l'architecte, sans être placée en état de dépendance face à quelques relations clés (Mark Gage, In Davidson, 2015 : p.104).

Par contre, si l'on revient à la question centrale de cet article, il ne faudrait pas séparer le travail sur la forme de l'objet face à sa matérialité. Cette dernière a beaucoup à gagner des relations qu'elle entretient avec son environnement physique, afin d'y extirper des informations contribuant à son organisation. Cette séparation constituerait un malencontreux retour vers l'hylémorphisme ; une doctrine aristotélicienne voulant que tout être, individu, ou objet, soit constitué de façon complémentaire d'une matière et d'une forme. Du grec *hylé* (matière, bois) et *morphé* (forme), ce concept oppose directement forme et matière; la première est active alors que la seconde est totalement passive. La matière serait alors le support indéterminé d'une forme singulière, telle que Platon avait initialement énoncé, avec l'idée d'une "cire fondamentale"⁸.

Bien que l'approche relationniste et l'OOO semblent difficilement réconciliables, nous proposons avec cet article d'explorer le potentiel théorique de leur mince intersection. Est-il possible de concevoir un objet architectural qui pourrait démontrer, à la fois, une autonomie formelle de par sa conception non-relationniste, et une autonomie matérielle de par une mise en relation physique avec son environnement ? Nous croyons que oui. Pour débiter l'explication, étudions le concept de *modulation* chez le philosophe français Gilbert Simondon.

Modulation

Dans sa thèse principale, *L'individu et sa genèse physico-biologique*, Simondon offre une révision du schème hylémorphique, alors qu'il en expose son incomplétude. Cette analyse le mènera à créer le concept de modulation de l'objet. Selon lui, il y aurait un élément manquant au cœur même du mécanisme hylémorphique, élément qui pourrait caractériser, et surtout préciser, la façon dont la forme vient informer la matière. Sans la

⁸. " Par nature, en effet elle se présente comme le porte-empreinte de toutes choses. Modifiée et découpée en figures par les choses qui entrent en elle, elle apparaît par suite tantôt sous un aspect tantôt sous un autre. Les choses qui entrent en elle et qui en sortent sont des imitations de réalités éternelles [...]. Il convient qu'elle soit par nature dépourvue de toute forme. [...] Mais si nous disons qu'il s'agit d'une espèce invisible et dépourvue de forme, qui reçoit tout, qui participe de l'intelligible d'une façon particulièrement déconcertante et qui se laisse très difficilement saisir, nous ne mentirons point. ". (Platon, 1992 : p.149-151).

formulation explicite de cette opération, nous retrouvons deux demi-schémas opposés, sans bien se figurer comment ils peuvent s'adapter l'un à l'autre (Deleuze, 1979). Simondon comprend que l'essentiel de la relation est absent :

“ Le schéma hylémorphique correspond à la connaissance d'un homme qui reste à l'extérieur de l'atelier et ne considère que ce qui y entre et ce qui en sort; pour connaître la véritable relation hylémorphique, il ne suffit pas même de pénétrer dans l'atelier et de travailler avec l'artisan : il faudrait pénétrer dans le moule lui-même pour suivre l'opération de prise de forme aux différents échelons de grandeur de la réalité physique. ” (Simondon, 1964, p.40)

Il décide donc de pallier au manque d'information, dû à l'hermétisme de cette “ boîte noire ” que représente l'hylémorphisme, et introduit un troisième paramètre dans l'équation, la force. Par ce fait, il établit conceptuellement le noyau de l'opération technique de la prise de forme en intégrant les conditions énergétiques dans le dialogue. Cela a pour conséquence l'édification d'une “ plateforme de communication ”, siège de la résonance interne entre les trois constituants, que l'on viendra éventuellement qualifier de système.

Simondon renforce sa réflexion théorique en employant un processus concret, celui de la confection des briques d'argiles. De par l'utilisation d'une matière réelle, la brique ne peut résulter de l'application du parallélépipède parfait sur l'argile comme le voudrait l'hylémorphisme avec ses matières abstraites, il se doit d'y avoir une opération technique et concrète de prise de forme. Le moule en bois permettra d'accomplir cette tâche, non pas en imposant sa forme à l'argile, mais bien l'amenant à l'équilibre⁹. Cette opération stabilisatrice de la matière, où le moule guide et limite l'expansion de celle-ci, s'effectue par une réaction de *forces* entre les parois solides et la matière malléable. Ce processus perdurera jusqu'à égalisation des forces en tout point, donc à une distribution uniforme de l'argile, où il n'existe plus aucune possibilité de déplacement. Il s'agit davantage d'une *modulation* de la matière, plutôt que d'un moulage à proprement dit; dans l'optique où le moule ne donne pas directement sa forme à l'argile, mais c'est bien l'argile qui comble la forme du moule. D'ailleurs, Gilles Deleuze apporte une clarification sur la différence entre mouler et moduler, où la modulation admet une variation continue de la

⁹. Comme il s'agit d'une prise de forme “ concrète ”, le moule (forme) possède déjà un aspect matériel; son vide représente un parallélépipède construit par une enceinte de bois, alors que l'argile (matière) est déjà en partie formée, puisque colloïdale, donc activement plastique.

matière, passant d'une phase d'équilibre à une autre : " moduler, c'est mouler de manière variable et continue, mais on dira aussi bien que mouler c'est moduler de manière constante et finie, et déterminée dans le temps. " (Deleuze, 1979). Il semble maintenant évident que l'entre-deux, cet élément énergétique entre le moule et l'argile, vient résoudre une des problématiques initialement soulevées dans l'hylémorphisme:

" La relation entre matière et forme ne se fait donc pas entre matière inerte et forme venant du dehors : il y a opération commune et à un même niveau d'existence entre matière et forme; ce niveau commun d'existence, c'est celui de la force, provenant d'une énergie momentanément véhiculée par la matière, mais tirée d'un état du système interélémentaire total de dimension supérieure, et exprimant les limitations individualisantes. " (Simondon, 1964, p.34)

C'est bien par cette relation de force que forme et matière se déterminent, et comme le souligne Pascal Chabot : " la relation n'est pas mystérieuse ", telle que sous-entendue par l'hylémorphisme, " mais physique " (Chabot, 2003 : p.77).

Modulation de l'objet créé

Simondon nous apprend donc que la relation entre forme et matière n'est pas une transmission active / passive comme l'explique l'hylémorphisme, ou une forme autonome qui agit de manière isolée sur la matière comme certaine version de l'OOO, ni un échange relationnel absolu où les entités n'ont que très peu d'autonomie, comme le paramétrisme. Il s'agit plutôt d'un dialogue, par la force, de deux composants également actifs et autonomes, soit la forme et la matière. Cette dernière partie est sans doute la plus importante, alors que l'on découvre que l'autonomie de l'objet se trouve à la fois dans sa forme et dans sa matière. Bien sûr, il s'agit de deux types d'autonomies complètement différentes. D'abord, une première autonomie intellectuelle ou créative de l'objet, lui est attribuée par la conception d'une forme, d'espaces et d'intentions de design par l'architecte ; comme le moule déjà formé dans l'exemple de Simondon. Ensuite, une autonomie physique ou structurale sera atteinte par une stabilisation efficace de la matière, à travers un dialogue avec la forme conçue ; à l'image de l'argile qui trouve l'équilibre dans le moule, pour se solidifier en brique.

Puisque la forme et la matière doivent trouver un équilibre par modulation, Simondon explique que l'objet serait continuellement dans un état de devenir, donc capable de bifurquer d'une phase à l'autre, selon les

forces qui agissent sur lui¹⁰. C'est alors que la relation physique de l'objet avec son environnement immédiat devient cruciale. La variation des forces qui s'y trouvent va entraîner un phénomène de métastabilité du système, qui décrit une phase éloignée de l'équilibre thermodynamique (Simondon, 1964 : p.6). Donc, si l'objet est appelé à changer de forme, ou même de contexte physique, la matière devrait modifier son organisation interne en conséquence. Ainsi, la métastabilité dépasse la simple idée de la stabilité en considérant l'énergie potentielle dans le processus de formation. Simondon arrive à la conclusion que "la bonne forme [de l'objet] n'est plus la forme simple, ni la forme géométrique, mais plutôt la forme qui établit un ordre transductif dans le système"(Simondon, 1964 : p.23). La modulation métastable entraîne finalement un effacement de la limite entre forme et matière, entre l'extérieur et l'intérieur de l'objet, entre sa composition et sa constitution, puisque la première amène l'autre à l'équilibre, et la deuxième octroie une unité physique objective au tout. Nous qualifierons ce processus d'une prise de forme matérielle.

Tentons maintenant de transposer ce concept de modulation à l'opération concrète de prise de forme matérielle en architecture. Alors que l'autonomie formelle découle de façon relativement linéaire des intentions conceptuelles de l'architecte, l'autonomie matérielle par modulation est plus complexe à révéler.

Est-il possible d'intégrer l'information matérielle dans la conception de l'objet architectural ? Une fois ce fait accompli, la matière est-elle considérée comme active dans le processus ? Cela entraîne-t-il une modulation matérielle de l'objet ? Comme élément de réponse, nous proposons de considérer les routines algorithmiques d'optimisations topologiques comme moyen d'élucider, de façon numérique, la prise de forme matérielle. De façon précise, il s'agit d'une procédure capable d'engendrer des géométries qui démontrent une distribution idéale de la matière dans l'espace, en respectant ses comportements structuraux (Michalatos & Kaijima, 2011 : p.69). À travers une évolution continue des "formes structurales" (Dombernowsky & Sondergaard, 2009 : p.1067), ce processus d'optimisation tente de maximiser les performances du système analysé, tout en minimisant son poids total.

¹⁰. De façon concrète, cet énoncé est véridique tant que nous restons dans la phase de conception. Une fois l'objet artificiel actualisé, celui-ci se fige et les possibilités d'organisation se transforment lentement en déclin entropique.

Selon une perspective théorique, l'optimisation topologique permet une compréhension précise du comportement matériel concret, par l'interactivité continue entre force-forme-matière et le déploiement de solutions dites optimales pour des contraintes prédéfinies. Ces dernières proviennent principalement de la relation de l'objet à son contexte, à travers les forces de l'environnement immédiat qui agissent sur lui. Le traitement de ces informations guidera la distribution de la matière dans un processus de simulation. La matière est alors abordée comme un "matériau-force plutôt qu'[une] matière-forme" (Deleuze & Guattari, 1980 : p.458). La routine algorithmique fait émerger une matérialité qui solidifierait les lignes de force; une réaction active de la matière. De ce fait, nous obtenons un système métastable, tributaire des variations de son milieu d'implantation qui peuvent déclencher une bifurcation de l'ensemble à tout instant. Bien que certains théoriciens de l'architecture amènent l'idée que l'information aurait tué la notion de structure (Picon, 2012), il est tout le contraire avec l'optimisation topologique ; elle qui fera émerger la structure directement de l'information.

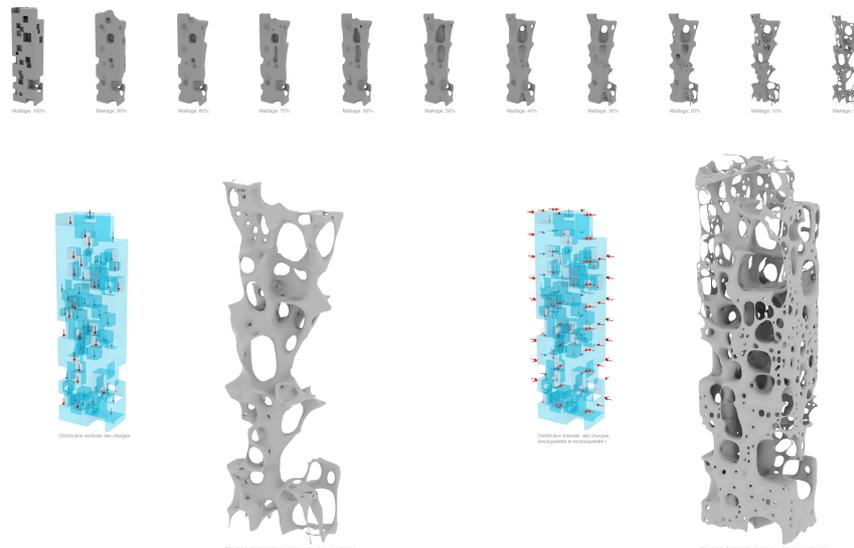


Figure 1. Optimisation topologique. Pour une architecture de l'écume. Force, forme et matière dans la morphogenèse de l'architecture numérique. Thèse de doctorat, Samuel Bernier-Lavigne, 2014.

Toutefois, il faut comprendre que ces algorithmes d'optimisations topologiques n'ont aucune logique de rationalisation formelle et de fabrication associée à leurs routines de calculs. Donc, lorsqu'utilisés comme unique élément génératif de l'objet, ils imposent au concepteur une certaine "vérité de la simulation" pour l'actualisation du projet. D'un côté, cela assure une certaine autonomie matérielle au projet; autonomie qui est développée à travers la relation rétroactive entre l'objet et son environnement. Cependant, la relation hylémorphique se voit alors inversée, la matière active impose sa loi sur une forme passive. Cela entraîne, la plupart du temps, la génération de structures hautement différenciée, aux topologies excessives, qui rappelle certaines structures naturelles, comme les os et les arbres¹¹. Pour nous, l'intérêt de l'optimisation topologique ne réside pas dans sa capacité à reproduire les processus naturels, ni même dans celle d'obtenir une optimisation structurale complète, souvent au détriment des autres paramètres architecturaux. L'intérêt est plutôt de développer une compréhension objective d'une matière imparfaite sous l'effet de la force, et de libérer, par le fait même, la réelle autonomie matérielle d'un objet (Daston & Galison, 2007).

Bien que nous en soyons plus très loin maintenant, la solution au problème initial n'est toujours pas trouvée. Comment avoir recours à l'optimisation topologique, et à son processus actif de la matière, tout en développant en parallèle, une autonomie formelle de l'objet? Il faut se projeter dans le moule, comme le souhaitait Simondon, pour suivre l'opération de la prise de forme matérielle, en percevant la structure comme un matériau capable de différenciation. Il faut chercher à comprendre les différences qualitatives que seule une matière soumise à la force dans son processus d'organisation peut démontrer, puis en tirer profit pour chaque organisation spatiale et formelle, spécifiquement créer par l'architecte. Le rapport recherché entre forme active et matière active doit passer par une forte implication du concepteur dans le processus, afin de lier les intentions de design aux résultats diagrammatiques de l'optimisation topologique. Cela sera catalysé par l'utilisation de nouveaux outils.

¹¹. Tels les *Bone Furniture* de Joris Laarman et le *Qatar National Convention Center* (2011), d'Arata Isozaki.

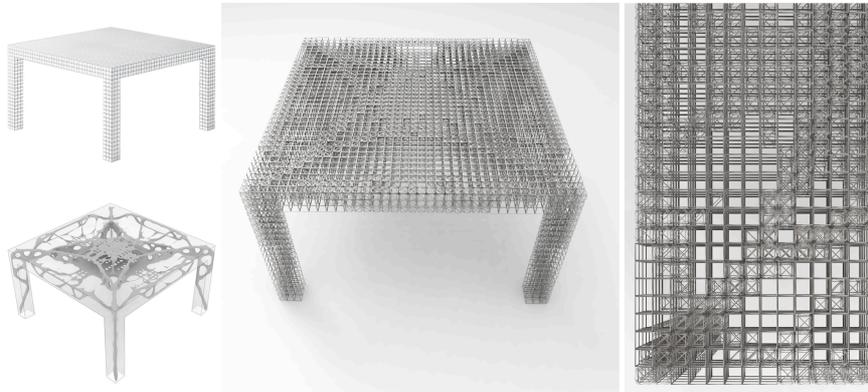


Figure 2. *Quaderna Optimisée. Intégration, par système de voxels informés, de l'optimisation topologique à l'intérieur d'une forme autonome (Table Quaderna, Superstudio, 1970). Samuel Bernier-Lavigne, 2013-16.*

Nouvelles approches, nouveaux outils

De nouveaux outils logiciels adressent, de façon technique, ce lien possible entre autonomie formelle et matérielle. Ceux-ci proposent d'optimiser la structure interne d'un objet initialement conçu. *Monolith*¹² aborde cette question en proposant une modélisation par voxel. De façon similaire à un pixel, qui est l'élément unitaire d'une image, et à un bit qui est une unité d'information; un voxel est un pixel volumétrique (Lipson & Kurman, 2013 : p.277). Chaque voxel a son emplacement précis dans le volume tridimensionnel qu'il forme, et peut adopter différentes propriétés matérielles. Contrairement aux techniques de modélisation habituelles, comme la *représentation des frontières*¹³ ou la *modélisation surfacique*, la modélisation par voxel rend indissociable matière et forme dans la conception, puisque la forme résulte de l'agrégation de voxels matériels. Jumelé avec le développement d'une nouvelle catégorie d'imprimante 3d qui peut imprimer plusieurs types de résines à la fois, grâce à leurs nombreuses têtes d'impression, il est pensable de programmer précisément la composition formelle et la constitution matérielle de l'objet. Chaque voxel pourra avoir une fonction matérielle différente : souple, rigidité,

¹². Logiciel développé par Panagiotis Michalatos (architecte et professeur assistant au GSD de Harvard) et Andrew Payne, Ph.D. (architecte et spécialiste en modélisation des données du bâtiment chez CASE). Voir: <http://www.monolith.zone>

¹³. Ang. *Boundary Representation*, ou *B-Rep*.

transparence, opacité, voir même un mélange de tout cela (Oxman, 2010 : p.44). Puisque la forme et la matière deviennent le résultat immédiat d'un processus créatif, l'emprise du concepteur sur l'objet est presque absolue. Ainsi débute un nouvel épisode de l'impression 3d, laissant derrière des années de prototypage formel, afin d'y intégrer des variations graduelles de la matière, supportant l'idée d'une modulation numérique.

Lorsque l'on combine cette approche avec l'optimisation topologique, ce que le logiciel *Monolith* propose, chacun des voxels devient informé par ce processus et peut répondre aux besoins structuraux exact, en modifiant sa constitution. On obtient alors des gradients matériels, allant du plus solide au plus fragile, ou même du plus rigide au plus flexible. Cela permet finalement d'obtenir une structure matérielle optimisée qui respecte les intentions initiales du concepteur, et offre une solution viable, à la fois du point de vue théorique et pratique, à la question sur lequel cet article prend racine.

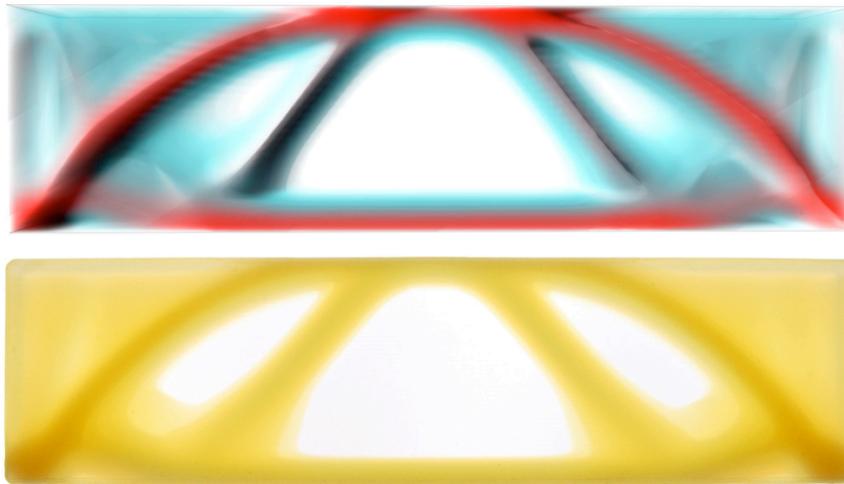


Figure 3. *Monolith*. Optimisation topologique et impression 3d à multi-matériaux. Modèle fait par Panagiotis Michalatos et Andy Payne, 2015.

Conclusion

La démonstration est alors explicite, il est possible d'aborder l'autonomie formelle et matérielle de l'objet architectural de façon simul-

tanée et parallèle. D'abord, en théorie, par le concept simondonien de modulation, où par un échange continu catalysé par la force, matière et forme dialoguent et se stabilisent accordement. Ensuite, dans la conception architecturale, avec l'utilisation de nouveaux outils numérique qui intègre les paramètres matériels par simulation, capable d'actionner cette modulation. Ainsi, la position défendue se trouve à la limite entre une architecture de relation et l'ontologie orientée objet, par une combinaison d'idée provenant des deux approches. Un tel processus peut sembler modifier radicalement le rôle de l'architecte pour ceux qui ne se trouvent pas au cœur de la mouvance numérique. Par contre, pour les acteurs du numérique, cette relation entre l'autonomie formelle et matérielle où les intentions du concepteur sont respectées, tout en développant une réponse structurale performante, semble être la prochaine étape logique dans la conception d'objets architecturaux, dépassant alors les extravagances formelles et les morphogenèses matérielles absolues.

Bibliographie

- Bogost, I. (2012). *Alien Phenomenology or What It's Like to Be a Thing*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Bernier-Lavigne, S. (2014). Pour une architecture de l'écume; Force, forme et matière dans la morphogenèse de l'architecture numérique. Thèse de doctorat.
- Bryant, L. (2011). *The Democracy of Objects*. Ann Arbor: Open Humanities Press.
- Chabot, P. (2003). *La philosophie de Simondon*. Paris: Vrin.
- Daston, L. & Galison, P. (2007). *Objectivity*. New York: Zone Books.
- Davidson, C. (Ed.). (2015). *LOG 33*. New York: Anyone Corporation.
- Delanda, M. (2002). *Intensive Science and Virtual Philosophy*. New York: Continuum.
- Deleuze, G. (1979). *Les cours de Gilles Deleuze, Anti Œdipe et Mille Plateaux: Métal, métallurgie, musique, Husserl, Simondon (27/02/1979)*. www.webdeleuze.com.
- Deleuze, G. & Guattari, F. (1980). *Mille plateaux, capitalisme et schizophrénie 2*. Paris: Éditions de minuit.
- Dombernowsky, P. & Sondergaard, A. (2009). Three-dimensional Topology Optimisation in Architectural and Structural Design of Concrete Structures. In Domingo, A., & Lazaro, C. (Eds.), *Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS)* (pp.1066-1077), Valencia: 2009.
- Garcia, T. (2010). *Forme et objet ; un traité des choses*. Paris : Presses Universitaires de France.

- Harman, G. (2002). *Tool-Being, Heidegger and the Metaphysics of Objects*. Chicago: Open Court.
- Harman, G. (2010). *L'objet quadruple, une métaphysique des choses après Heidegger*. (trans. Olivier Dubouclez), Paris : Presses Universitaires de France.
- Harman, G. (2010). *Towards Speculative Realism, Essays and Lectures*. Winchester: Zero Books.
- Harman, G. (2012). On the Mesh, the Strange Stranger, and the Hyperobjects : Morton's Ecological Ontology. In Ruel-Bergeron, S. (Ed.), *Not Nature, Tarp – Architectural Manual* (pp.16-19), New York: Pratt Institute.
- Harman, G. (2013). Objets et Architecture, Objects and Architecture. In Brayer, M-A., & Migayrou, F. (Eds.), *Naturaliser l'architecture naturalizing, Catalogue Archilab* (pp.234-243), Orléans: Frac Centre, Éditions HXX.
- Lipson, H., & Kurman, M. (2013). *Fabricated: the New World of 3D Printing*. Indianapolis: Wiley.
- Meillassoux, Q. (2006). *Après la finitude*. Paris: Éditions du Seuil.
- Michalatos, P., & Kaijima, S. (2011). Intuitive Material Distribution. In Legendre, G. (Ed.), *Mathematics of Space* (Architectural Design vol.72, no.4) (pp. 66-69). London: Wiley.
- Morton, T. (2010). *The Ecological Thought*. Cambridge: Harvard University Press.
- Oxman, N. (2010). *Material-based Design Computation* (PhD dissertation). Cambridge: MIT.
- Platon, (texte établi et traduit par Luc Brisson), (1992). *Timée*. Paris: Flammarion.
- Teyssoit, G., & Bernier-Lavigne, S. (2011). Forme et information : Chronique de l'architecture numérique. In Guiheux, A. (Ed.), *Action Architecture* (pp. 49-87). Paris : Édition de la Villette
- Schumacher, P. (2011). *The Autopoiesis of Architecture, A New Framework for Architecture, Vol.1*. London: Wiley.
- Schumacher, P. (2012). Architecture's Next Ontological Innovation. In Ruel-Bergeron, S. (Ed.), *Not Nature, Tarp – Architectural Manual* (pp.100-107), New York: Pratt Institute.
- Simondon, G. (1964). *L'individu et sa genèse physico-biologique*. Paris : Presses Universitaires de France.