

De la matière à l'espace : une voie d'intégration numérique et matérielle.

Frédéric Delvaux, Romuald Bianchi, Sylvie Jancart

Faculté d'Architecture de Liège, Belgique
frederic.delvaux@ulg.ac.be

RÉSUMÉ. Issu d'une collaboration de recherche formelle et architectonique entre architecte et plasticien, nous présentons le compte-rendu d'une démarche expérimentale qui illustre la création et la construction d'un espace fonctionnel, situé aux frontières de la sculpture et de l'architecture. Nous présentons un regard sur la méthode, revu selon une approche de modélisation / re-conception numérique. Celle-ci a fait l'objet d'une approche exploratoire grâce à l'étude de trois modèles génériques de la forme. Nous exposons la méthode d'expérimentation, le choix des paramètres pertinents au form finding couplés à l'intégration des données matérielles et physiques propres à l'objet. Nous exposons aussi les bénéfices de cette démarche, ses limites et les possibilités qu'elle offre d'un point de vue générique.

MOTS-CLÉS: architecture expérimentale, recherche formelle, arts plastiques, modèles génériques de la forme, surfaces minimales, méthodologie opérationnelle, artisanat numérique.

ABSTRACT. From a collaboration of formal and architectural research between architect and artist, we present the summary of an experimental approach that illustrates the creation and construction of a functional space, located at the borders of the sculpture and the architecture. We present a look at the method, according to a revised approach to digital modeling / re-design. This has been an exploratory approach through the study of three generic models of the form. We present the experimental method, the selection of relevant parameters in form finding coupled with the integration of material and physical data specific to the object. We also expose the benefits of this approach, its limitations and the possibilities it offers as a generic point of view.

KEYWORDS: experimental architecture, formal research, art, generic models, minimal surfaces, operational methodology, digital crafts.

1 Conception partagée et approche matérielle

1.1 Vers des formes libres

Un des enjeux fondamentaux de ce projet réside dans la prise de position de l'intervention face à un cadre bâti de valeur patrimoniale. Il s'agit d'un ancien bâtiment à vocation agricole, inscrit au patrimoine monumental de Wallonie, destiné désormais à accueillir des fonctions résidentielles.

Si il s'agit bien de rendre exploitable une part du lieu existant à travers la création d'un nouvel espace d'environ 70 m², la démarche est orientée dans un esprit de respect des caractéristiques architecturales du bien (conservation des structures), et par là même comme réversible.

L'approche plastique donnée à ce nouvel espace se veut être en résonance aux activités thérapeutiques qui y sont prévues et instaure un dialogue avec son contexte grâce à l'apparition d'un nouveau vocabulaire formel. La plus grande liberté possible dans les formes et la continuité des surfaces deviennent des conditions indispensables au développement de ce projet.



Figure 1. Vocabulaire formel de l'espace construit et son insertion dans le cadre bâti existant.

1.2 Matière unique

Le matériau choisi est l'élasthanne (Lycra). L'objet construit consiste en un assemblage en tension de plusieurs surfaces tendues, dont l'apparence globale est bien du domaine des formes complexes et, tout en

travaillant avec un matériau unique, son enveloppe intègre les aspects tant formel que structurel (Bagneris, 2009).

1.3 Chaîne de conception-fabrication et démarche de l'approche formelle

Contrairement à l'enchaînement « classique » des tâches qui conduisent des premières esquisses à l'exécution des travaux selon des documents en deux dimensions et des descriptifs conçus par l'architecte, et transmis à des artisans qui réalisent le travail, un lien très étroit s'est opéré entre l'architecte et le plasticien, tant au niveau conceptuel qu'à celui de la réalisation de l'objet.

La matière utilisée implique un champ formel spécifique, puisque c'est par la tension qui lui est appliquée qu'il est possible de produire une forme stable. La relation forme-forces est bien en jeu dans le processus génératif de la forme de cet objet.

La forme recherchée est obtenue principalement à partir d'un modèle expérimental à l'échelle 1/10, à l'image de ce qu'ont fait nos prédécesseurs dans leurs démarches de form-finding en développant des modèles physiques interactifs pour l'exploration de formes n'appartenant pas au champ de la géométrie classique tels Otto Frei et ses travaux sur les processus d'auto-génération des formes ou préalablement Antonio Gaudi qui, à partir d'une typologie traditionnelle aboutit à une forme structurellement stable (Wendland, 2000). A cette différence près que notre modèle physique est réalisé avec la matière utilisée pour l'espace réel.

Pour obtenir le résultat définitif, la mise au point s'est opérée de manière itérative à partir d'une surface capable plane. La matière est étirée à partir de « points de contrôle » qui sont déplacés sur les bords afin d'obtenir une répartition optimale de la tension tout en s'ajustant progressivement à la forme recherchée. Ces « points de contrôle » ont permis de définir trois bords fixes et un bord ajustable (figure 2).



De la matière à l'espace : une voie d'intégration numérique et matérielle.

Figure 2. Modèle physique en élasthane à l'échelle 1/10. Mise en forme par points de contrôle sur les bords de la surface.

La maquette est ensuite démontée et réexposée à plat. Les toiles obtenues, après détente servent alors à réaliser les patrons en vraie grandeur par homothétie. Nous constatons que la question du changement d'échelle ne semble pas affecter la forme globale.

2 Approche paramétrique et analyse de comportements

Afin de prolonger la recherche expérimentale que nous avons amorcée avec ce projet, nous nous sommes penchés sur sa modélisation informatique dans une approche de re-conception de l'objet, avec comme objectif le développement d'une méthode de conception numérique. Par rapport à l'objet construit, notre démarche ici n'est pas d'en faire une modélisation parfaite mais consiste à en avoir un modèle exploitable dans une voie exploratoire.

Plus précisément, les objectifs poursuivis sont de vérifier, à partir de l'objet construit si une approche paramétrique peut nous apporter une meilleure appréhension de la forme (génération, approche par form finding) et, si possible, une capacité opérationnelle plus efficace (constructibilité).

2.1 Développement de la démarche de re-conception :

Les outils

Pour le modéliser, nous avons pris le parti de choisir le logiciel Rhinoceros 3d® et ses plug-in Grasshopper®, Kangaroo®, outils numériques permettant le modelage et l'intégration de différents comportements physiques.

Les paramètres

Ceux-ci s'organisent en deux catégories : les paramètres de disposition spatiale et de grandeur des éléments qui constituent l'objet (la nappe et les deux manchons), cette première catégorie de paramètres comporte la définition des frontières de l'objet (trois bords contraints et un bord

libre) ainsi que ce que nous nommons les points extrêmes. La seconde catégorie reprend les paramètres agissant avec le modèle génératif de la forme ; nous reviendrons sur ces derniers.

Les modèles génératifs de la forme

Dans un premier temps, nous avons choisi une démarche de mise en forme par « modelage » numérique grâce à la création d'une surface **NURBS** (modèle génératif) à partir de courbes de contour.

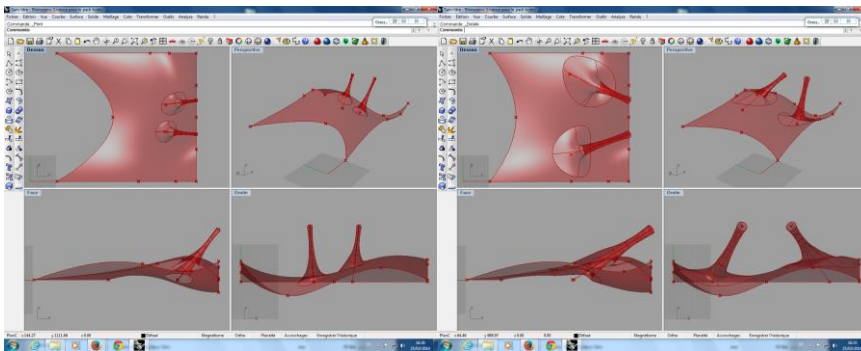


Figure 3. A gauche, l'ensemble modélisé par surface nurbs, à droite, illustration des changements apportés par la modification des valeurs des paramètres qui définissent la disposition spatiale des éléments constituant l'objet.

Cette approche est paramétrée mais n'intègre aucun comportement physique ou matériel. Il s'agit d'un « modelage pur », reproduisant grossièrement le modèle physique illustré plus haut, à partir de son relevé.

Afin d'intégrer la notion de comportement formel, nous avons appliqué dans un nouveau modèle numérique un plug-in de **simulation de surfaces minimales**, modèle mathématique dont l'objet construit semblerait s'approcher.

Sur le modèle produit, une différence de comportement apparaît au niveau du bord ajustable qui se retrouse sous la surface de la nappe.

De la matière à l'espace : une voie d'intégration numérique et matérielle.

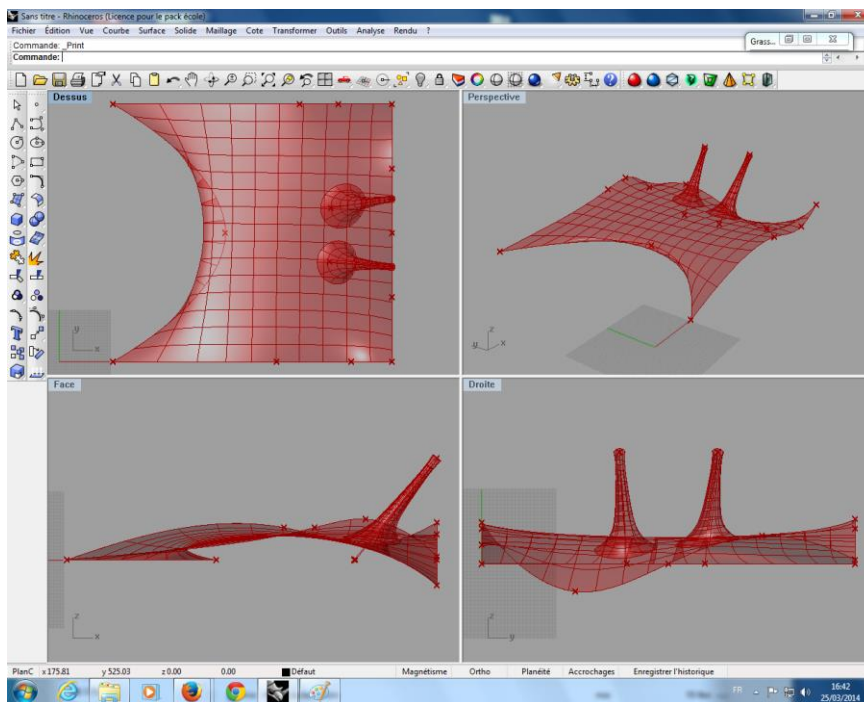


Figure 4. L'ensemble modélisé par le plug-in « Minimal surfaces ». Un retroussement de la surface apparaît clairement sous le quatrième bord, illustrant une divergence entre ce modèle et les modèles physique et numérique utilisant les NURBS.

Pour poursuivre plus avant cette investigation comportementale, nous avons comparé la forme des deux modèles produits. Pour une approche plus valide des modèles à comparer, nous avons retiré deux éléments de l'objet (les manchons) pour nous intéresser à la nappe. Cette décision suit une conclusion évidente : tant en modélisation NURBS qu'en modélisation comportementale Minimal surfaces, il s'agit de trois éléments distincts (nous avons projeté une ellipse sur la nappe pour modéliser la rencontre manchon/nappe et pour le modèle, il s'agit bien d'entités sans interaction).

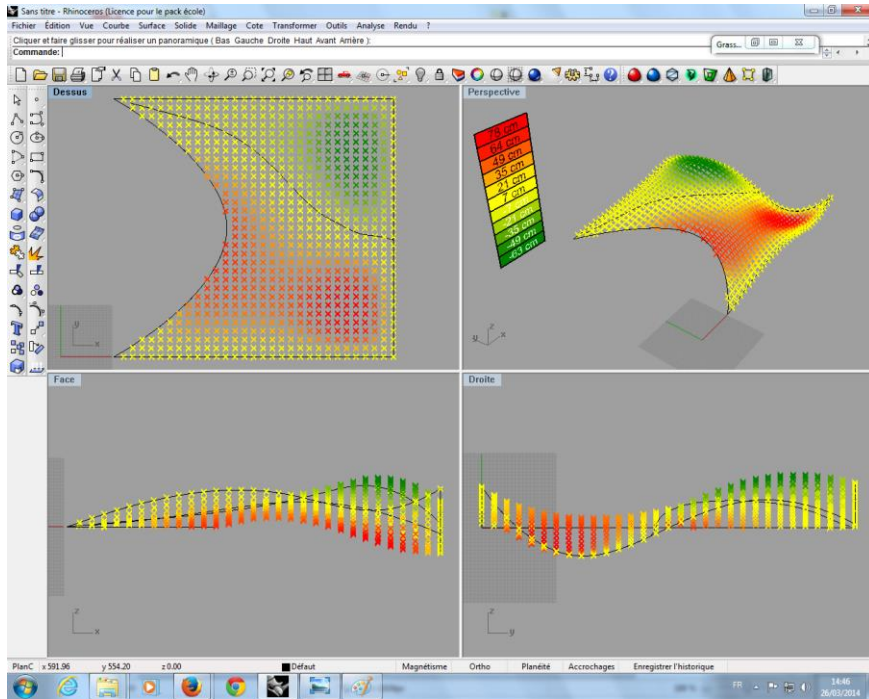


Figure 5. Comparaison formelle des modèles NURBS et Minimal surfaces . Le gradient de couleur indique la différence d'altitude de points entre les deux modèles. La surface de référence étant la surface NURBS, une valeur positive correspond à un point de la surface minimale (avec (x,y) identique) situé au-dessus de la surface NURBS. Et de façon similaire, une valeur négative correspond à un point de la surface minimale situé en dessous (la valeur exprimée en cm correspond à la distance sur l'axe des z séparant les deux points).

Il apparaît donc une variation de forme dont l'amplitude maximale ne dépasse 8% de la longueur projetée du bord le plus court. (figure 5).

Les maquettes numériques que nous obtenons avec chacun des deux modèles employés nous apportent des résultats assez proches en tant que forme.

En terme de form finding, se dégage-t-il un modèle valable dans une vision constructible ? Les résultats sont incomplets pour conclure en ce sens.

Pour tenter d'approcher plus finement cette question, nous devons changer de modèle génératif pour tenter d'y inclure des paramètres comportementaux inhérents à une surface élastique tendue.

De la matière à l'espace : une voie d'intégration numérique et matérielle.

C'est ici que nous revenons sur la seconde catégorie de paramètres, énoncés plus haut.

Toujours en utilisant Grasshopper®, nous nous sommes orientés ici vers le plug-in Kangaroo® avec lequel il est possible de **modéliser des surfaces élastiques** à partir d'un réseau de mailles (mesh).

Après la réalisation d'un maillage orthogonal, nous réalisons deux percements. Le plug-in Starling® est appliqué pour obtenir un réseau fermé de mailles triangulaires plus homogène. Les deux maillages constitués pour les manchons lui sont alors associés pour ne plus former qu'un seul réseau.

Dans ce modèle génératif, contrairement aux modèles précédents, nous pouvons construire un seul objet et non plus trois éléments séparés.

D'autre part, nous appliquons un relâchement du maillage (avec l'outil slRelax) qui en permet l'optimisation. Cette configuration constitue un rapprochement considérable en terme d'unité matérielle avec l'objet construit (voir figure 6).

Constats, limites et pistes de développement générique

Pour franchir un pas supplémentaire vers la réalité construite (donc aussi pour aller vers un modèle générique de conception), d'autres questions doivent être approchées, en particulier celle de l'allongement de la matière ou de son poids propre. Pour commencer, le coefficient d'élasticité peut-il être simulé ?

Kangaroo® nous permet de modéliser la modification de dimension des mailles suite au relâchement précité. En convertissant les bords des mailles en « ressorts » paramétrables, nous pouvons avoir une représentation de leur allongement ou de leur raccourcissement. La contrainte interne à ses « ressorts » virtuels est que ceux-ci tendent à revenir à une longueur nulle, sachant que chaque bord de maille réagit en fonction de l'élément voisin. Les nœuds du maillage se positionnent dans l'espace selon ces contraintes pour générer la forme (form finding).

Interaction(s) des maquettes numériques

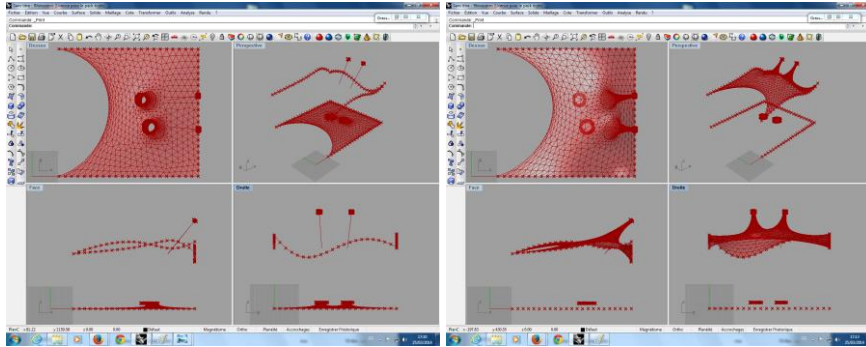


Figure 6. Construction du modèle de surface élastique avec kangaroo®.A gauche, sur un plan, construction de l'ensemble de l'objet avant positionnement selon paramètres de configuration spatiale. En bas, l'objet mis en place dans l'espace. Maillage triangulaire « optimisé ».

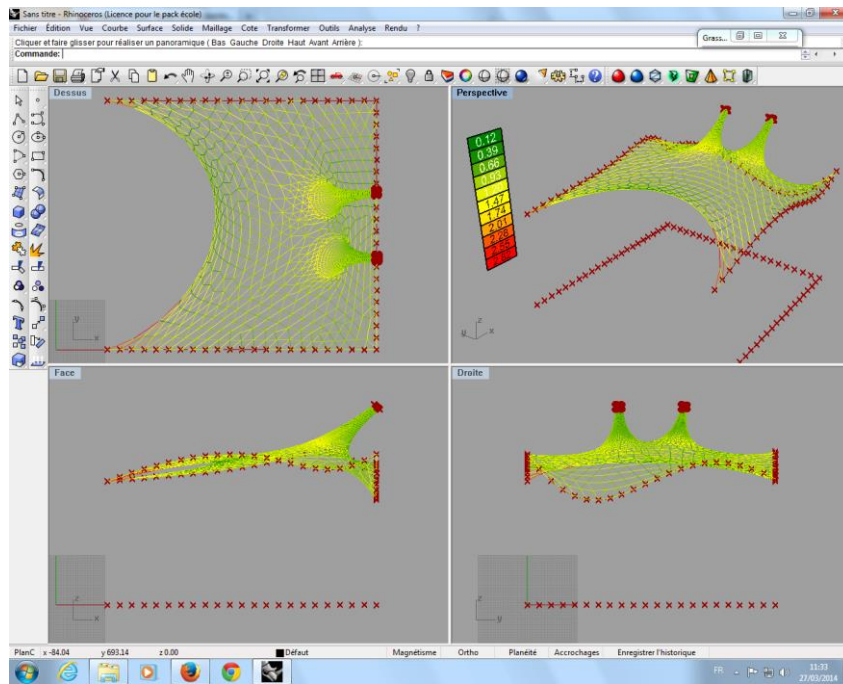


Figure 7. Illustration des allongements. L'échelle et son gradient nous permettent de visualiser l'amplitude et la répartition des allongements sur tout le maillage (rapport entre la longueur avant et après mise en route du plug-in).

Nous pouvons considérer les valeurs de modification dimensionnelle comme un indicateur intermédiaire par rapport à la réalité matérielle. L'amplitude que nous observons dans la dimension des mailles nous informe sur la valeur de la différence entre les mailles les plus petites et les plus grandes et signifie que, après relâchement (SIRelax), toute valeur inférieure à 1.0 correspond à un segment dont la longueur a diminué et inversement pour toute valeur supérieure à 1.0.

La distribution de ces valeurs est assez uniforme et se situe majoritairement entre 0.92 et 1.42 (une faible proportion de mailles atteignent une valeur inférieure à 0,66; celles dépassant 1,74 par rapport à la valeur 1.00 sont marginales).

Ces résultats nous permettent de faire des constats et de tenir les conclusions suivantes en terme de conception :

Sachant que toute matière élastique réelle ne peut tendre à revenir à une dimension de valeur nulle, nous devons, dans une approche de conception définir une valeur initiale minimale des « ressorts » virtuels du maillage, ce qui simulerait l'état de la toile hors extension (et par ailleurs correspondrait également aux dimensions du patron)

Pour les valeurs extrêmes : sous la valeur 1.00, cette partie de matière est théoriquement détendue, pour les valeurs extrêmes les plus hautes, le coefficient d'élasticité est dépassé.

Le dernier modèle génératif exploré est celui qui nous permet d'approcher le plus finement la forme de l'objet construit et son comportement physique et reste valable, mais nous entrevoyons des possibilités de développement expérimental permettant d'affiner encore l'approche matérialisante et de tendre vers un modèle générique. Des pistes sont en cours d'expérimentation et les résultats seront prochainement validés.

Voici ce que nous pouvons en dire en l'état actuel :

Les parties détendues correspondent à un excédent de mailles (donc trop de matière), les parties trop tendues correspondent à un déficit de mailles (donc trop peu de matière).

C'est ici que nous devons comprendre la nécessité de modifier la forme de la nappe de départ par une inversion localisée de « quantité de matière ». Cela se traduit dans le modèle par **deux ajustements mineurs** : la diminution de la longueur des manchons et la modification du tracé des contours (en référence aux informations quantitatives observées en figure 7). Cette dernière modification peut être approchée dans le modèle (non mis en place spatialement) grâce aux paramètres de disposition spatiale.

Nous pouvons affirmer cette proximité entre l'objet construit et notre modèle grâce à deux facteurs inhérents à l'objet construit : une marge dimensionnelle relative que laisse l'élasthane tant qu'il est en tension et le positionnement des bords de la nappe en leur extrémité qui sont réglables et non jointifs au contour contrairement au modèle (ce qui réduit localement la tension en ces valeurs extrêmes comme le révèle la figure 7).

Si la question du poids propre n'a pas été développée, c'est parce que son influence n'est pas considérable sur la forme mais elle est toutefois paramétrable et a été testée.

3 Conclusion

Nous illustrons donc cet objet, à priori complexe à appréhender, comme totalement paramétrable et maîtrisable par logiciel.

Dans le contexte de ce projet d'architecture où la chaîne conception-production (depuis la genèse et le contrôle de la forme à la réalisation) est déjà réduite, un pas vers la simplification peut encore être réalisable grâce à l'utilisation des logiciels et des plug-ins spécifiques mentionnés. Avec la réalisation d'un modèle numérique adapté, il est possible de faire l'économie du modèle physique pour le 'form-finding' puisque la forme générée numériquement se modifie en temps réel par l'ajustement des paramètres choisis (génération et maîtrise de la forme, analyse du comportement physique selon les contraintes, connaissance des dimensions,...).

Le choix du modèle génératif s'est évidemment opéré ici dans une démarche itérative de modélisation/ re-conception de l'objet. C'est ce qui caractérise la méthodologie de la présente recherche, avec comme objectif de s'approcher d'un modèle de conception.

D'une manière plus générique, nous pensons pouvoir exploiter les données géométriques du modèle pour en transférer les informations utiles à la conception de surfaces développables pour la réalisation des patrons adaptés à des produits disponibles sur le marché, en fonction de leurs caractéristiques d'élasticité.

Le présent article ouvre des portes vers les dernières étapes non explorées ici, que sont l'assemblage des pièces par couture ou collage et le montage robotisé.

De la matière à l'espace : une voie d'intégration numérique et matérielle.

4 Bibliographie

Bagneris, M. (2009). *Contribution à la conception et à la réalisation des morphologies non-standard: les formes pascaliennes comme outil*. Thèse de doctorat de l'Université de Montpellier2

Wendland, D. (2000). *Model-based formfinding processes: free forms in structural and architectural design*. Allemagne: Université de Stuttgart

Otto, F. (1985). *Architecture et bionique : constructions naturelles*. Denges: Delta & Spes

Otto, F., & Rasch, B. (1996). *Finding Form: towards an architecture of the minimal*. Munich: Achim Menges