

Génération de structures non-standards au moyen d'éléments natifs irréguliers en bois

Elaboration d'un outil numérique de conception architecturale

Vincent Monier¹, Gilles Duchanois², Jean-Claude Bignon²

¹ENTPE Lyon, ²MAP/CRAI ENSA Nancy

RÉSUMÉ. Les travaux présentés dans cet article portent sur l'optimisation de structures élaborée à partir d'éléments irréguliers en bois. Qu'ils soient issus du démontage de bâtiments ou directement produits par l'activité forestière sans transformation industrielle, ces éléments de ressource présentent chacun des caractéristiques différenciées et vont constituer la base de matériaux disponibles pour la structure. On se place là dans une logique environnementale où l'objectif est de valoriser la matière première qu'est le bois dans son état d'origine. Pour cela, cette ressource est modélisée puis mise en œuvre au moyen d'algorithmes répondant à des intentions architecturales. Ce principe de construction aboutit au développement d'un outil numérique de conception architectural dans l'environnement Rhinoceros-Grasshopper. La complexité de la conception induite par l'usage de composants sources non-standards trouve une résolution dans un algorithme ayant la capacité à gérer des géométries aléatoires.

MOTS-CLÉS : Architecture Non-Standard, Numérique, Environnement, Bois, Structure.

1 Introduction

1.1 Contexte

Le développement de l'imagerie numérique a introduit une rupture forte dans l'approche morphologique architecturale. Plus qu'un simple dispositif de « digitalisation » de la représentation traditionnelle, la modélisation numérique a induit une transformation du vocabulaire formel et de la pensée architecturale en « guidant » largement les autres facteurs de forme que sont l'usage, le lieu ou la technique.

Plusieurs auteurs ont vu dans cette surdétermination de la forme par la figuration l'expression d'une nouvelle utopie ; après l'architecture de papier, l'architecture du pixel.

L'architecture dite « numérique » y est vue comme une aventure « plasticienne » à l'image des nombreuses propositions qui jalonnent l'histoire de la pensée utopique, du projet de Cénopathe d'Etienne Louis Boullée à la pyramide de Shimizu.

Parmi les critiques émises, plusieurs propos reposent sur l'idée qu'une liberté supposée de la forme dessinée introduirait une complexité des propositions les rendant difficilement constructibles. Il faut pourtant convenir que depuis la construction du musée Guggenheim de « Bilbao » la critique de la non-faisabilité est aujourd'hui de plus en plus sans fondement. Il semblerait même que les nouvelles topologies proposées rentrent en phase avec le contexte changeant de la matérialisation et de l'industrialisation en architecture.

L'évolution des matériaux (le lamibois, le ductal, les verres athermiques, les polymères, les tissus 3D...) et plus encore le développement du numérique dans la fabrication (découpe, assemblage) comme dans la mise en œuvre (positionnement) semblent devoir apporter des réponses crédibles aux architectures de l'ère digitale.

De nouvelles technicités émergent en accord avec les nouvelles morphologies. Elles déplacent les questions traditionnelles de la complexité forme/structure en redessinant des passerelles pour passer du pensable au possible. L'octet fait figure de Plus Petit Multiple Commun entre la géométrie des formes digitales et l'univers de la (pré)fabrication avancée de composants.

Le modèle sériel fondé sur l'idée que l'architecture doit s'exprimer dans la répétition à l'identique d'éléments pour atteindre l'efficacité technique a dominé la pensée architecturale et constructive depuis près d'un siècle. Mais il n'est plus aujourd'hui le seul crédible.

Le concept de non-standard emprunté aux mathématiques de l'infinitésimal semble devoir décrire cette union entre des formes non régulières et des modes de fabrication capable de produire des composants tous différents en utilisant des machines à commandes numériques.

De nouveaux paradigmes émergent comme celui de « new structuralism » [Oxman 2010] qui permet de redonner une valeur première à l'approche structurale dans la définition de la forme.

Il reste vrai cependant que beaucoup d'approches centrées sur les questions précédentes restent en marge d'un autre grand champ de questionnement qui est celui des approches environnementales. Le High-tech et le Low-Tech seraient-ils incompatibles ?

12 Démarche adoptée

Dans le présent article nous souhaitons intégrer l'approche architecturale, structurale et environnementale dans une même démarche. Notre travail de recherche vise à proposer un modèle et un outil de conception de forme et de structure non standard faisant appel à une ressource en matériaux issus du démontage de bâtiments ou d'éléments bruts de type tronc ou branchage. Il s'agit de maximiser l'emploi de ressources disponibles en l'état en diminuant la quantité de matière perdue et l'énergie consommée dans la transformation.

L'emploi d'éléments faiblement transformés apparaît aujourd'hui comme un enjeu non négligeable dans le cadre des approches soutenables. Cependant cette position se traduit par une complexité accrue de la conception voire de la réalisation des ouvrages. Les éléments faible-

ment transformés ont des irrégularités de forme, de dimensions et de comportement mécanique qui requiert une modélisation capable de fournir les particularités de chaque élément constitutif de la ressource. La définition de ce modèle paramétrique constitue le deuxième point de cet article. Le modèle développé est adaptable aux éléments issus du démontage d'ouvrages présentant des caractéristiques géométriques relativement simples (solives, charpente...) comme aux éléments ramifiés de type branchages courbes. Parallèlement, la technique de mise en œuvre de ces éléments de ressource a été développée sous la forme d'un algorithme. Les modèles des éléments de ressource ainsi que les intentions architecturales du concepteur constituent les données d'entrée de l'algorithme. L'algorithme de génération de la structure fait l'objet du troisième point de cet article.

Cette démarche constructive basée sur la ressource disponible pour élever des structures est développée dans un premier temps sur le plan logique, affranchie de tout système de programmation. Ces recherches ont abouti au développement d'un outil numérique de conception architecturale dans l'interface Grasshopper de Rhinoceros. Cet espace de travail a été retenu pour l'interactivité aisée qu'il propose pour un concepteur-utilisateur ainsi que pour le caractère modulable du programme une fois fini.

L'outil vise à faciliter l'incorporation du matériau bois dès les premières esquisses du projet en permettant une exploration formelle et structurelle conditionnée par les ressources disponibles.

L'échelle de construction envisagée dépend en partie des dimensions des éléments de ressource disponibles. Toutefois nous pensons pouvoir générer dans un premier temps des structures de type dôme de plusieurs mètres de haut dont la portée reste à définir.

13 Etat de l'Art

L'approche des structures « non-standards » et plus généralement du « new-structuralism » fait aujourd'hui l'objet de nombreux travaux [Oxman 2010]. L'objectif de ces travaux vise à développer de nouveaux modes de production (fabrication et mise en œuvre), de nouveaux modes de conception et de nouveaux vocabulaires architecturaux [Nilsson 2008].

Yvo Stotz [Stotz 2009] a plus particulièrement analysé le domaine de la géométrie et le processus itératif qui accompagne la conception architecturale. Shaghahegh Shadkhou [Shadkhou 2010] a travaillé sur le passage d'une forme géométrique libre à une forme constructible. Un des moyens développés est un modèle paramétrique générique permettant d'extraire d'une géométrie quelconque une grille d'arc structurelle.

Thierry Ciblac [Ciblac 2010] a étudié des possibilités d'approcher une volumétrie non-standard par des éléments standards, cela passe par la résolution algorithmique de contraintes. Griffith, Sass & Michaud [Griffith, Sass, Michaud, 2006] se sont focalisés sur les liaisons des composants préfabriqués pour interroger la relation entre la modélisation des formes, la structure et les assemblages.

Au delà des aspects recherche, Fabien Scheurer [Scheurer 2005] et l'équipe de « design to production » ont questionné à partir de différentes réalisations (Camera Obscura, Trondheim

2006, Hungerburg Funicular Stations, Innsbruck 2007, Centre Pompidou, Metz 2008) la matérialisation des modèles digitaux en gérant une description paramétrique de composants qui permet le passage d'un modèle sans échelle à la réalisation d'un modèle à échelle 1.

Tous ces travaux et bien d'autres encore visent à matérialiser la production de formes libres par une conception intégrée de composants finaux non standards. Mais peu s'intéressent aujourd'hui à la démarche « inverse » consistant à travailler avec des éléments sources non standards. A notre connaissance, Christian Stanton [Stanton 2010] est un des rares à aborder la conception architecturale au moyen d'un algorithme mettant en œuvre des éléments spécifiques de ressource irréguliers disponibles. Il ouvre la voie à une démarche attentive aux composants « déjà là » qui est celle dans laquelle nous nous situons.

2 Modélisation caractérisée de la ressource

21 Les éléments de ressource à modéliser

Les différents éléments de la ressource présentent des caractéristiques différenciées qui doivent être identifiées et modélisées afin d'être prise en compte dans le processus d'élaboration de la structure. Cette partie traite de la gestion de la ressource et de son appropriation numérique par le concepteur.

Tout d'abord, les éléments potentiels qui composeront la ressource sont identifiés comme issus d'un des types suivants : bois de démontage, bois non usinés (branchages, troncs avec ou sans ramifications), bois résiduels de l'activité de scierie. Le modèle paramétrique proposé rassemble les propriétés géométriques d'un élément de ressource et peut être adapté en acceptant quelques approximations à tout élément de la ressource, quelque soit son type. Le travail de modélisation de la géométrie d'un élément de ressource porte principalement sur les branchages dont la forme est aléatoire. Le modèle complexe pourra par la suite être adapté sans difficulté à des éléments rectilignes simples.

Cette démarche permet de valoriser une ressource locale qui peut être présente sur un site [Stanton 2010] tout en explorant un grand nombre de possibilités formelles pour sa mise en œuvre au moyen de l'outil algorithmique.

22 Le modèle paramétrique

La portion élémentaire est l'entité de base qui va être reproduite et positionnée dans l'espace pour constituer le modèle dans sa globalité. Une portion élémentaire est définie par deux points disjoints, une flèche et une section d'extrusion. Les deux points définissent les extrémités de la portion élémentaire. La flèche donne la distance entre le centre du segment reliant les extrémités et un troisième point se trouvant dans le plan médian du segment. L'arc de cercle passant par les deux extrémités et ce troisième point constitue la fibre médiane de la

portion élémentaire le long de laquelle est extrudée la section de l'élément. On comprend à travers cette définition que le modèle global de l'élément de ressource se décomposera en portions de cercle ou de droite de section constante. On fait ici l'approximation suivante : il est possible de discrétiser une courbe gauche quelconque en des portions d'arc de cercle. Une fois cette portion élémentaire définie, on lui crée une ramification pour obtenir l'entité suivante.

Le tronçon élémentaire est produit à partir de deux portions élémentaires positionnées l'une par rapport à l'autre afin de créer une ramification. La première portion élémentaire est positionnée selon la fibre médiane principale de l'élément de ressource, on la nomme portion élémentaire principale. La seconde portion élémentaire est disposée par rapport à la première avec une de ses extrémités sur un point de la fibre médiane de la première, on la nomme portion élémentaire ramifiée. Cette ensemble en « y » constitué de deux portions élémentaires est paramétré angulairement et linéairement par rapport à la fibre médiane de la portion élémentaire principale. Les deux portions élémentaires sont paramétrées indépendamment l'une de l'autre en termes de longueur, courbure et section. L'étape suivante consiste à juxtaposer des tronçons élémentaires pour obtenir le modèle de l'élément de ressource.

Le *modèle* de l'élément de ressource est limité dans notre étude à la juxtaposition de cinq tronçons élémentaires. Les cinq tronçons éventuels sont disposés bout à bout de façon à obtenir cinq fibres médianes ramifiées réparties le long d'une fibre médiane principale. Selon l'élément de ressource à modéliser, le modèle peut comporter moins de cinq tronçons et certains tronçons peuvent être dépourvus de ramification. Le modèle de base constitué d'une fibre médiane de cinq portions élémentaires et de cinq ramifications est modifié dans sa composition pour correspondre à l'élément de ressource à modéliser.

Le positionnement relatif des portions élémentaires qui vont constituer la fibre médiane principale est paramétré de proche en proche. La figure suivante illustre le propos. Le positionnement se fait par rapport aux segments entre les extrémités de la portion élémentaire principale du tronçon, le segment i est relatif au tronçon i . Un premier angle β , selon l'axe de la normale au plan p généré par les segments i et $i+1$, définit la position du segment $i+1$ par rapport au segment i dans le plan p . Un second angle α selon l'axe du segment i définit la position du plan p par rapport au plan $p-1$ généré par les segments $i-1$ et i . Viennent ensuite les angles : θ pour le positionnement du plan de courbure de la portion élémentaire principale, α_r et β_r pour le positionnement de la portion élémentaire ramifiée et θ_r pour le positionnement du plan de courbure de la portion élémentaire ramifiée.

On obtient finalement un modèle applicable à une grande diversité d'éléments de ressource. Il renseigne l'algorithme qui va être présenté par la suite sur la forme de l'élément de ressource et sur la répartition de la matière le long de cet élément. On se limite ici à des ressources linéiques, la longueur est grande devant les autres dimensions de la ressource. Le modèle obtenu se divise au final en deux parties : une partie linéique qui comprend les fibres médianes (principales et ramifiées) et une partie volumique qui comprends les sections extrudées. La partie volumique renseigne sur la géométrie de la section et peut être couplée à un coefficient dépendant des caractéristiques mécaniques du bois utilisé pour évaluer les performances structurales. Il

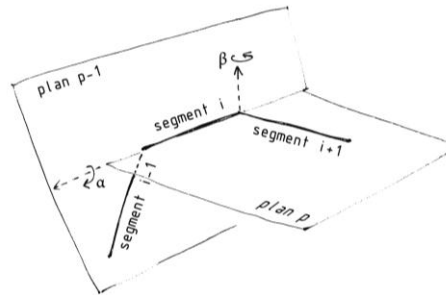


Figure 1 : schémas de paramétrage

s'agit maintenant de prélever les paramètres d'implémentation du modèle sur les éléments de ressource.

23 Le traitement du stock d'éléments de ressource

Maintenant que le modèle virtuel a été présenté, revenons aux éléments matériels de la ressource. La démarche de traitement du stock de ressource consiste à placer sur les éléments les points caractéristiques (extrémités de chaque portion élémentaire définie et point de flèche) puis relever pour chaque élément les paramètres linéaires et angulaires à partir de ces points. La métrologie dans l'espace reste complexe sans l'emploi d'un outil numérique mais le relevé de ces points caractéristiques peut être réalisé à partir d'un scanner numérique. Le nuage de points relevé nécessite toutefois un traitement algorithmique pour en extraire les paramètres, cette question n'est pas abordée dans ce projet.

Dans un second temps, on implémente les paramètres relevés dans l'algorithme pour obtenir le modèle numérique 3D de l'élément de ressource. Les différentes parties qui composent le modèle, fibre médiane principale, fibres médianes ramifiées, extrusions de sections, constituent un seul et même objet qui est transmis à l'algorithme générateur de structure. L'algorithme est ensuite capable d'identifier indépendamment les parties du modèle dont il a besoin pour réaliser les différentes opérations qui sont présentées dans la partie suivante.

3 La mise en œuvre de la ressource

31 Définition du problème

La mise en œuvre de la ressource pose la question de l'intention du concepteur. Cette intention architecturale sera traduite par une nappe de référence, des paramètres de densité de répartition de la ressource et éventuellement des points caractéristiques. L'idée fonctionnelle, formelle ou mécanique qui est visée par le concepteur peut être approchée en définissant cor-

rectement les trois données d'entrée précédentes. Nous nous limitons dans cette étude à approcher une surface de référence mais il serait possible de raisonner en termes de ligne ou volume de référence. Des lignes de référence dessinées sur une surface à approcher pourraient par exemple indiquer des « chemins » structurels à privilégier pour la circulation de l'énergie mécanique. On induirait ainsi des orientations préférentielles lors du placement des ressources, ce qui reviendrait à localiser des « armatures » sur la surface. Des notions de gabarit ou d'espace exploitable peuvent également être prises en compte dans la définition de la volonté architecturale du concepteur.

L'enjeu du travail de recherche a été d'identifier et d'isoler des étapes élémentaires de réflexion constructive pour parvenir à les écrire sous la forme d'un algorithme. Le raisonnement mené par un concepteur pour élaborer une structure à partir d'éléments irréguliers en bois peut être décomposé en une succession d'opérations élémentaires qui se répètent. Il vient rapidement à l'esprit la « cabane » de branches confectionnée à partir d'éléments tous différents et surtout disponibles sur place, imposés et non imaginés. Les travaux relatés dans cet article visent à traduire sous la forme d'un algorithme la réflexion menée par l'individu qui érige sa cabane en y incorporant des notions de stabilité et de résistance mécanique.

Le positionnement d'un élément de ressource sur la surface de référence constitue la première étape du raisonnement. L'algorithme procède à une répartition de ce même élément de ressource dans différentes positions possibles en différents points sur la surface de référence. La surface se trouve ainsi couverte d'une multitude de positions possibles pour un élément appelée *population de positions possibles*. La deuxième étape du raisonnement consiste à sélectionner parmi cette population la position optimale selon des critères de positionnement qui seront détaillés par la suite. Une fois la position optimale retenue, le processus est répété pour un nouvel élément de ressource tout en prenant en compte l'élément qui vient d'être disposé. Le processus est réitéré ainsi de suite jusqu'à saturation de la surface de référence. La saturation de la surface correspond au critère de densité de répartition présenté par la suite.

32 Développement d'une entité élémentaire de l'algorithme

321 Production de la population de position

La production de la population de positions est réalisée de deux façons différentes selon le type de placement que l'on souhaite imposer à la ressource : placement avec *un* ou *deux points* contraints. Ces points contraints dans le positionnement de l'élément sont appelés *points de destination*.

Dans le cas d'un point de destination unique, le processus de génération de la population de position se décompose en deux temps :

- Premièrement, constituer des *bouquets* de positions possibles. L'élément de ressource à positionner se voit attribué sur sa fibre médiane un certain nombre (déterminé par le concepteur à travers un paramètre de densité de découpage) de points fixes de rotation. L'élément est ensuite

mis en rotation selon les trois directions de l'espace autour de ces points fixes. La quantité de positions angulaires possibles autour de chaque point fixe est déterminée par le concepteur. On comprend que plus cette quantité sera élevée, plus la population de positions possibles sera conséquente, ce qui optimise le placement mais augmente le flux d'information à traiter par l'algorithme. On obtient ainsi autant de *bouquets* de positions possibles que de points fixes de rotation.

- Deuxièmement, répartir les *bouquets* de positions possibles sur des points de destination en lien avec la structure en cours d'élaboration. Ces points de destination peuvent être de deux natures : soit des points de la surface de référence, soit des points d'ancrages sur des éléments de ressource déjà positionnés sur la surface. L'algorithme dispose chacun des *bouquets* sur chaque point de destination, l'ensemble de ces positions constitue la population de positions possibles.

Dans le cas d'un couple de points de destination, la génération de la population se décompose également en deux étapes :

- Premièrement, identifier des couples de points de destination susceptibles de générer des axes de rotation pour l'élément à positionner. L'algorithme évalue la distance maximale qui peut exister entre deux points de l'élément à positionner. Ensuite, ne sont retenus que les couples de points de destination éloignés d'une distance inférieure à cette distance maximale. Des axes de rotation sont générés à partir de chaque couple de points retenu.

- Deuxièmement, générer des *fagots* de positions possibles autour des axes de rotation disponibles. Sur l'élément à positionner sont créés des couples de points dont la distance entre les deux est égale à celle entre les points de définition de l'axe de rotation. L'élément est ensuite placé sur la structure de façon à faire correspondre les couples respectifs de points, puis l'élément est mis en rotation autour de l'axe pour générer le *fagot* de positions. L'ensemble des *fagots* de positions possibles obtenu constitue la population de positions possibles.

322 Tests de sélection de la position optimale

Une fois la population de positions possibles constituée, il s'agit de retenir la position optimale selon les critères définis par le concepteur. Nous ne retenons ici qu'une position pour simplifier la démarche mais ce choix est subjectif car la deuxième ressource selon le classement par critères peut être toute aussi intéressante pour le développement de la structure. Une démarche plus fine consisterait à retenir un certain pourcentage de meilleures positions et de poursuivre l'élaboration de la structure pour chaque possibilité. Le résultat obtenu serait une population de structures répondant toutes aux critères mais proposant des agencements différents. Ce point pourra faire l'objet d'approfondissements ultérieurs.

La population de positions possible est soumise successivement à trois tests : le test d'appartenance à la surface de référence, le test de densité de répartition et le test de proximité avec la surface de référence.

- Le *test d'appartenance à la surface de référence* vérifie que tout point de l'élément positionné peut être projeté normalement sur la surface de référence. Ce test binaire élimine toutes les positions pour lesquelles une partie de l'élément est hors du champ d'appartenance de la surface de référence. La population des positions qui remplissent ce critère est transmise au test suivant.

- Le *test de densité de répartition* permet à la fois de veiller à la répartition uniforme de la ressource sur la surface de référence et d'éviter les situations de chevauchement trop important de différents éléments de ressource dans l'élaboration de la structure. Ce test est conçu de la façon suivante : dans un premier temps, un maillage de points est réparti uniformément sur la surface de référence, dans un deuxième temps, chaque élément positionné capte dans un rayon d'influence une partie des points qui sont alors supprimés du maillage. (Le rayon d'influence dans lequel les points sont captés est défini à partir des caractéristiques mécaniques du bois employé et des performances visées pour la structure.) Ainsi, à chaque élément positionné, la quantité de points disponibles sur le maillage diminue. Pour chaque position possible d'un élément, l'algorithme calcul le nombre de points captés. Le concepteur décide de ne retenir qu'un certain pourcentage des positions captant le plus de points. Cette population est ensuite soumise au troisième test. Lorsque dans toutes les positions possibles, aucun point ne peut être capté, c'est que la surface de référence est saturée et alors l'algorithme s'arrête.

- Le *test de proximité avec la surface de référence* vise à retenir la position qui épouse au mieux la surface de référence. Pour cela, des points de l'élément positionné sont projetés sur la surface de référence et l'algorithme somme les distances entre chaque point et son projeté. La position dans laquelle cette somme est la plus faible est retenue comme la position optimale.

Les opérations de positionnement et les tests de sélection qui viennent d'être présentés constituent des entités algorithmiques à dupliquer et connecter les unes aux autres pour obtenir l'algorithme générateur de la structure.

33 Composition du processus de génération de structure

Le premier facteur déterminant le processus de génération de la structure est la surface de référence elle-même. Une fois la surface-enveloppe de l'objet architectural définie, on peut procéder de deux façons :

- soit utiliser telle quelle cette surface de référence pour y répartir de manière uniforme la ressource sans imposer de direction à la structure. La structure résultante est un entrelacement d'éléments de ressource à l'image d'un nid d'oiseau (cf. figure 4).

- soit définir à partir de cette surface une grille d'arc unidirectionnelle dont les arcs constituent les surfaces de référence à approcher. On utilise un algorithme capable d'extraire d'une forme non standard une grille d'arcs structurelle [Shadkhou 2010]. La répartition des éléments de la ressource est dans ce cas orientée et rassemblée au niveau d'arcs structurants.

Une fois la surface de référence définie, le second facteur déterminant le processus de génération de la structure est l'organisation des étapes élémentaires au sein de l'algorithme. Une

opération de positionnement est associée à la combinaison des trois tests de sélection pour ne retenir en sortie qu'une seule position. Les différentes entités ainsi constituées sont juxtaposées pour former l'algorithme. L'algorithme procède ensuite à un traitement linéaire de la liste des modèles 3D des éléments de la ressource. Le concepteur de la structure doit penser en conséquence l'ordonnement de cette liste. Il peut être réalisé selon différents critères de l'élément de ressource : encombrement, section, masse... en fonction des intentions.

Une première méthode consiste à placer les éléments sur la surface de référence en cherchant à chaque fois un ou deux points d'ancrage sur les éléments déjà positionnés. On obtient de cette façon une structure dans laquelle chaque élément est en contact avec au moins un autre élément (cf. figure 4), il s'agit alors de penser l'articulation entre chaque éléments afin de rigidifier la structure. La question des nœuds entre les éléments n'a pas été approfondie, mais deux pistes pouvant être combinées ont été envisagées. Il serait possible de traverser les éléments au moyen d'une tige filetée (inconvenient : cela crée un risque d'éclatement de l'élément de ressource dans le cas où il serait soumis à des efforts de rotation) ou utiliser des colliers orientables d'échafaudages [Douthe 2006] (inconvenient : cela impose un domaine restreint de sections pour les éléments de ressources).



Figure 2 : bois solidarisés au moyen de tiges filetées - détail d'une réalisation de Polissky



Figure 3 : collier orientable utilisé pour le montage d'échafaudages

Une seconde méthode consiste à différencier plusieurs phases successives. Lors de la première phase, les éléments les plus encombrants sont positionnés de manière libre sur la surface de référence. Il n'y a pas de contrainte de contact entre eux afin d'optimiser leur positionnement. Dans la seconde phase, les autres éléments sont positionnés avec deux points d'ancrage sur les ressources de la première phase. La structure obtenue possède un premier réseau d'éléments de grande taille indépendants les uns des autres sur lequel vient s'ancrer un second réseau d'éléments de plus petite taille pour solidariser l'ensemble.

Il faut également envisager la possibilité de repérer parmi les éléments positionnés ceux dont les positions interfèrent afin de créer des connexions en ces points de rencontre. Ces connexions supplémentaires participeront à la rigidité de la structure. Il est important de noter qu'à cet avancement du projet, les nœuds entre les éléments modélisés sont localisés à la rencontre des fibres médianes et que l'excentricité amenée par la section de chaque élément (et éventuellement par le système de liaison) n'est pas prise en compte.

Les possibilités d'organisation de l'outil numérique de conception architecturale présentées ici ne sont pas exhaustives. L'intérêt du fonctionnement par entités algorithmiques élémentaires réside dans cette liberté de composition dont dispose le concepteur pour mettre en œuvre la ressource.

La figure suivante présente le positionnement effectué par l'algorithme d'éléments de ressource (en vert) sur une surface de référence (en rouge) qui a la forme d'un demi-cylindre.

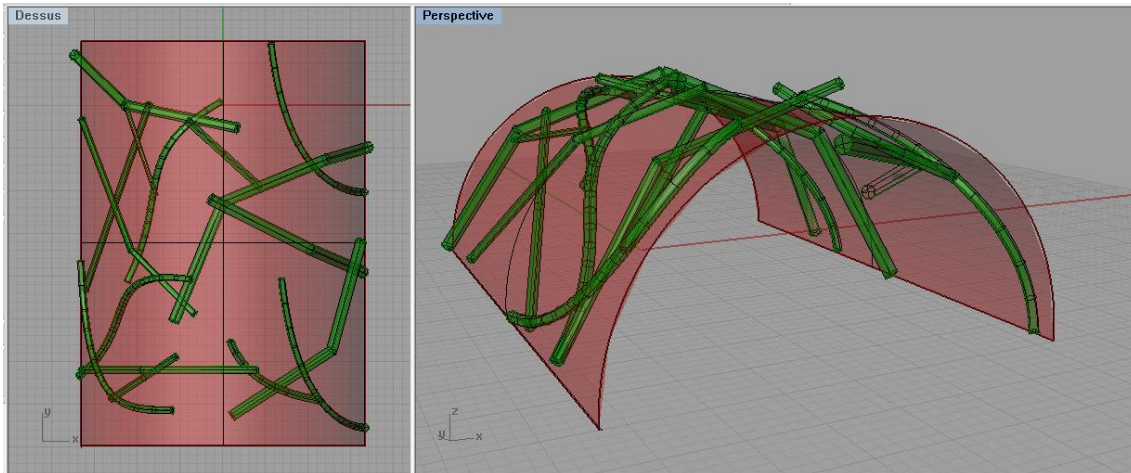


Figure 4 : Visualisation dans l'interface Rhinoceros d'éléments de ressource positionnés sur une surface

5 Conclusion

Le travail de recherche prospective qui a été mené nous permet de conclure sur la pertinence d'aborder la conception architecturale avec comme point de départ le matériau et ses caractéristiques géométrique et mécanique. Le recours à l'outil numérique pour la gestion de modèles complexes permet dans le même temps au concepteur de disposer d'une représentation visuelle explicite dans le modèleur 3D Rhinoceros. L'approche proposée permet d'intégrer dans la structure des éléments dont les formes et les dimensions diffèrent tout en optimisant leur positionnement. La complexité de conception induite par l'introduction d'une ressource irrégulière se trouve résolue par un algorithme qui met en œuvre les composants modélisés et permet ainsi d'explorer les différentes configurations possibles répondant aux intentions architecturales du concepteur.

L'idée développée ici consiste à prendre en considération la matière et la structure dès les prémices de la conception formelle. La démarche vise à générer à partir d'éléments existants la capacité constructive la plus grande, à concevoir en limitant au maximum les opérations industrielles de transformation en vue de réduire l'empreinte énergétique de la structure.

Un développement possible consiste à affiner le positionnement des éléments de ressource au moyen d'un critère plus précis de l'ordre du maillage. Il ne s'agirait plus uniquement de répondre à une densité mais d'assurer un certain pourcentage des liaisons du maillage. Ce maillage pourrait être envisagé dans la surface de référence comme dans un volume de référence. Cette méthode imposerait des orientations pour le positionnement des éléments et garantirait la rigidité de la structure.

Bibliographie

- Ciblac, T. (2010). Conception paramétrique en fonction d'éléments standards. Application à des systèmes d'éléments de longueur constante. Marseille : SCAN'10.
- Shadkhou, S., Bignon, J-C. (2010). Proposition of a parametric model for non standard timber construction. ECAADE 2010 Conference, Zurich, Switzerland.
- Oxman, R. (2010). The New Structuralism, Design, Engineering and Architectural Technologies. AD July/August 2010, pp 14-23.
- Stanton, C. (2010). Digitally Mediated Use of Localized Material in Architecture. Sigradi 2010, Bogota.
- Nilsson, F. (2008) New technology, new tectonics? On architectural and structural expressions with digital tools. Tectonics Making Meaning.
- Stotz Yvo (2009) Iterative geometric design for architecture, Thèse. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (Suisse)
- Griffith, Kenfield; Sass, Larry and Michaud, Dennis (2006) A strategy for complex-curved building design: Design structure with Bi-lateral contouring as integrally connected ribs, SI-GraDi 2006 - Proceedings of the 10th Iberoamerican Congress of DigSantiago de Chile - Chile 21-23 November 2006
- Scheurer Fabian (2005) Turning the Design Process Downside-up, Computer Aided Architectural Design Futures 2005 [Proceedings of the 11th International Conference on Computer Aided Architectural Design Futures] Vienna (Austria) 20-22 June 2005
- Douthe, C., Baverel, O., Caron, J-F., (2006). Form-finding of a grid shell in composite materials. Journal of the international association for shell and spatial structures.