

# L'optimisation de la conception architecturale :

Pourquoi et comment des concepteurs se tournent-ils vers une optimisation d'une ou plusieurs variables du projet par l'outil informatique au cours de la conception architecturale ?

Luc Rousseau

Mémoire de master – MS809 activités et instrumentation  
de la conception ENSAPLV janvier 2019



## Introduction

Un fait notable de la conception architecturale est l'émergence de l'usage, depuis une petite décennie de nouveaux outils, chez les professionnels comme chez les étudiants. Pour optimiser une ou plusieurs variables ou performances d'un bâtiment, des entreprises, start-ups et agences développent des outils permettant une optimisation assistée par ordinateur d'un ou plusieurs paramètres du bâtiment lors de sa conception : forme, structure, ensoleillement, etc. Cette pratique est ce que l'on nomme également par le terme d'ADO, les initiales de Architectural Design Optimization (traduction : Optimisation de la conception architecturale). Cette technologie est également de plus en plus accessible aux architectes, étudiants, concepteurs non spécialisés en programmation informatique par le biais de logiciels comme Grasshopper3D ou Dynamo. Face à ce constat, l'objet de ce mémoire est alors de tenter d'apporter une réponse aux questions suivantes. Pourquoi et comment des concepteurs se tournent-ils vers une optimisation d'une ou plusieurs variables du projet par l'outil informatique au cours de la conception architecturale ?

Pour tenter de répondre à ces questions, on débutera par une analyse historique afin de mieux saisir l'intérêt et le fondement des celles-ci. On s'intéressera aux théories et expériences similaires développées jusqu'à nos jours sur le sujet.

On se concentrera, par la suite, sur la pertinence actuelle du sujet. Pour développer ce passage du mémoire, on s'appuie sur deux éléments. Le premier étant un ensemble d'informations collectées sur l'utilisation de ces logiciels. Permettant d'avoir une première intuition de la situation actuelle. Le second, ce sont les résultats d'une enquête menée auprès d'un échantillon de la population des professionnels et des étudiants du milieu de l'architecture, ainsi qu'une étude de la situation actuelle de l'enseignement de ces techniques. Ces éléments nous permettent d'ancrer le sujet dans la situation actuelle, et de souligner la pertinence des questions face à cette situation.

Cet état des lieux permet alors de considérer une étude sérieuse des différentes hypothèses qui peuvent conduire un concepteur à employer ces outils d'optimisation au cours d'un processus de conception. On s'appuie sur les résultats de l'enquête menée vis-à-vis des motivations des concepteurs pour utiliser ces outils, mais aussi sur quatre études de cas. La première s'appuie sur un entretien mené auprès d'un professionnel utilisant une des techniques de programmation dans le but d'optimiser sa conception architecturale. Et les trois autres résultent de l'observation de la pratique de trois étudiants ayant développé ces compétences. Ces informations collectées vont nous permettre de vérifier ou de nuancer l'exactitude des hypothèses énoncées. Dans un premier temps on effectuera une analyse factuelle des résultats en regroupant les motivations et les techniques par ensembles. Puis on appliquera un modèle comportementaliste pour compléter le commentaire des résultats de l'observation.

L'étude des résultats de cette recherche va nous permettre de conjecturer que l'un des premiers facteurs limitant le développement de l'utilisation de la programmation d'algorithme d'optimisation de la conception architecturale est un manque de connaissance du sujet des étudiants et des professionnels. Ce manque de connaissance est lié aux deux autres facteurs limitants que sont : le manque de temps et le manque d'intérêt. L'étude nous permet aussi de vérifier que Grasshopper3D est le logiciel le plus

couramment utilisé pour la programmation de fonction d'optimisation de la conception architecturale. La collecte d'information nous permet de mettre en avant trois motivations principales lorsqu'il s'agit d'adopter des techniques de programmation de fonction d'optimisation pour la conception architecturale. Ces critères étant la recherche : d'un gain d'efficacité du projet, d'un gain de temps dans la conception, de la satisfaction d'une curiosité intellectuelle. Enfin cette étude nous permet d'appréhender les optimisations principales effectuées par les concepteurs usant de ces techniques : l'optimisation de la forme, de la structure et de l'ensoleillement.

Les conclusions de l'étude permettent alors d'ouvrir le débat sur le rôle de la formation à ces pratiques dans le monde de la conception architecturale. Mais également sur la nécessité, ou non, de former à ces techniques les architectes et concepteurs de demain.

## Table des matières

Introduction.....	3
Table des matières.....	5
I Etat de l'art : Contexte historique et théorique de la recherche.....	7
1 l'Interaction homme/machine pour la conception, une longue histoire. ....	7
2 Les enjeux de l'optimisation dans le processus de conception architecturale....	10
3 Exemple de pratiques de l'optimisation de la conception architecturale.....	11
4 L'optimisation, un travail d'architectes ? .....	11
II Etude des données sur l'utilisation, de nos jours, des outils de programmation de fonction d'optimisation de la conception architecturale.....	13
1 Situation vis-à-vis de la pratique de l'optimisation dans la conception architecturale.....	13
a La modélisation paramétrique dans les processus de conception .....	13
b L'optimisation de la conception architecturale. ....	14
2 L'optimisation de la conception architecturale dans le marché des services pour l'architecture.....	17
3 L'optimisation de la conception architecturale dans la pratique des étudiants en architecture.....	19
4 L'optimisation de la conception architecturale dans l'enseignement en école d'architecture.....	19
III Problématique et Hypothèses.....	21
1 Problématique .....	21
2 Hypothèses .....	22
IV Expérimentation et observations .....	24
1 Enquête sur la pratique de la programmation de fonction d'optimisation de la conception architecturale. ....	24
a Les données en relation avec le « pourquoi » de la pratique .....	27
b Discussion et conclusion vis-à-vis de l'enquête sur la question du « pourquoi » de la pratique. ....	35
c données en relation avec le « comment » de la pratique .....	35
d discussion et conclusion vis-à-vis de l'enquête sur la question du « comment » de la pratique .....	37
2 Interview d'un professionnel pratiquant la programmation de fonction d'optimisation de la conception par Grasshopper3D .....	37
3 Analyse de la pratique de trois étudiants .....	41
a Une utilisation de Grasshopper3D .....	41
b Une utilisation de Java.....	43
c Une utilisation de Python .....	44
4 Discussion et conclusion .....	46
a Une analyse des données factuelle .....	46

b	une analyse des données selon un modèle comportementaliste .....	48
VI	Vérification des hypothèses, et conclusion .....	53
1	Vérification des hypothèses .....	53
2	Conclusion et discussion .....	54
	Mea Culpa .....	56
	Bibliographie.....	57
	Annexes .....	59
	Annexe 1 : Descriptif du sondage réalisé sur l'utilisation de fonction d'optimisation de la conception architecturale dans la conception architecturale .....	59
	Annexe n°2 : entretien projet MESH.....	77

## I Etat de l'art : Contexte historique et théorique de la recherche

Pour mieux saisir les enjeux du sujet abordé et notamment détailler les notions et les concepts dont ils découlent, nous allons dans cette première partie retracer un historique des avancées et recherches qui ont abouti aux connaissances et technologies mises en jeux dans le thème abordé. Cette mise au point nous permet alors d'évoquer les débats existants autour de l'optimisation de la conception architecturale.

### 1 l'Interaction homme/machine pour la conception, une longue histoire.

Le thème abordé traite en tout premier lieu d'une interaction entre l'homme et la machine. Nous sommes préoccupés ici par une interaction entre l'architecte et la machine. Cette interaction s'est faite dans un premier temps par l'utilisation de la machine comme d'un outil de conception, une aide à la représentation. La longue histoire de la relation entre le concepteur et la machine est jalonnée de dates clé dont nous vous faisons une chronologie non exhaustive dans la suite de cette partie.

1956 Gordon Pask établit les conditions possibles d'une interaction Homme-machine à partir des liens potentiels entre langue naturelle et langage machine.

À la suite, deux ans plus tard Pierre Bezier, ingénieur chez Renault, commence à travailler et va développer entre 1958 et 1966 une modélisation des surfaces en 3D pour le pilotage de machines numériques de pièces automobiles. Ses recherches aboutissent en 1966 à la création du logiciel de CAO Unisurf. Les lettres CAO désignant la Conception Assistée par Ordinateur.

En parallèle, dès 1960, William Fetter, engagé par Boeing pour développer un laboratoire d'informatique graphique, conçoit un programme de dessin 3D ouvrant la voie à ce qu'il désigne en 1965 par Computer Graphics.

Ces deux innovations, en provenance de l'industrie, marquent le début du dessin par ordinateurs. Ce qui permettra par la suite le développement de la conception assistée par ordinateur (CAO).

La CAO comprend l'ensemble des logiciels et des techniques de modélisation géométrique permettant de concevoir, de tester virtuellement, à l'aide d'un ordinateur et des techniques de simulation numérique, et de réaliser des produits manufacturés et les outils pour les fabriquer.

Par la suite en matière de CAO dans le thème traité ici, il est important de citer les dates de création de deux logiciels phare de la CAO aujourd'hui que sont AutoCAD et Rhinoceros 3D

En 1982 Autodesk est créé et commercialise la même année la première version du logiciel AutoCAD. Aujourd'hui Autodesk est leader dans la CAO et est la base de nombreuse recherches et dessins en architecture.

Développé au sein des équipes d'Autodesk dès mai 1992, le logiciel de CAO Rhinoceros 3D est sorti sous sa version 1.0 en octobre 1998. Il faudra par la suite attendre mars

2008 pour voir l'ajout du plug-in Grasshopper3D au logiciel. Nous reviendrons sur ce plug-in dans une partie ultérieure.

En parallèle du développement de la CAO s'est développé la mise en place des concepts où l'ordinateur et le concepteur/architecte/ingénieur vont travailler ensemble, ce sont les prémisses des théories sur la conception générative.

1960, en parallèle à ses recherches sur la perception et la vision pour les laboratoires Bell, Béla Julesz conçoit des grilles de motifs générées par ordinateur à partir d'automates cellulaires.

Dans cette lignée, entre 1961 et 1973, Juraj Bartusz débute en 1972 une série de sculpture en collaboration avec le programmeur informatique Vladimir Haltenberger. Il va parvenir à concevoir de nouvelles formes anthropomorphiques par la génération de courbes et de profils.

Ces avancées sont, dès les années 60, considérées par des architectes et urbanistes. Pour traiter de vastes ensembles de données servants à l'analyse urbaines, l'architecte Constantinos A. Doxiadis utilise alors l'informatique, son centre de recherche (l'Electronic Computer Center datant de 1964) est alors l'un des centres informatiques les plus avancées de son époque.

Au même moment, en 1963, Léopold Gerstel conçoit un édifice pyramidal, à l'aide d'une étude par ordinateur visant à définir la géométrie de la répartition des cellules à partir du plan des différents niveaux.

C'est à cette époque également que des collectifs mettent en place des concepts, avant-gardiste pour ces périodes, sur la dématérialisation de l'architecture. On peut citer le projet Computer City de Dennis Crompton, membre du collectif Archigram. Il conceptualise une ville totalement gérée par un ordinateur central qui va prendre en compte en temps réel l'ensemble des données permettant de gérer les fonctions de la cité, situation et densité des habitants, transports ou encore communication.

En 1967, l'idée de programmer la ville se dessine dans les premiers dessins de No-Stop City réalisé par Andrea Branzi. On y trouve une ville entièrement gagnée par la rationalisation. Un espace sans architecture, sans hiérarchie entre les mobiliers, les espaces habitables et le bâtiment. C'est l'idée d'une ville dont la structure et les évolutions peuvent être encodées.

Les années 70 vont être marquées par de nombreuses théories et avancées du point de l'utilisation de l'informatique dans l'architecture et pour les théories de l'optimisation de la conception architecturale.

Au début des années 70, Tom Willoughby publie plusieurs articles sur l'allocation spatiale. Ou sur comment concevoir un bâtiment avec l'aide d'un ordinateur. Ces articles portent sur des méthodes de design génératif et d'optimisation du processus de conception. Son idée est d'utiliser l'outil informatique pour générer des formes et des dispositions pour aider l'architecte dans son processus de conception. Il introduit un de ses articles appelé A generative approach en Septembre 1970, par la phrase suivante :

« Use of the computer to assist the architect does not imply any intention of replacing his abilities as a designer, but rather to supplement this role to diminish time loss, and increase the creative time available »

(Traduction : L'utilisation de l'ordinateur pour aider l'architecte n'implique aucune intention de remplacer ses capacités en tant que concepteur, mais plutôt de compléter ce rôle pour réduire la perte de temps et augmenter le temps de création disponible.)

Cette phrase introduit de manière assez fidèle l'axe de raisonnement des différentes recherches de T. Willoughby, qui va développer des méthodes de génération de bases de plans à l'aide de découpage cellulaire de terrains pour différents projets.

En Avril 1970, Bernoltz et Fosburg publie A generalized program for transforming relationship values into plan layouts. Ils exposent dans ce texte un programme d'allocation spatiale engendrant aléatoirement une série de plans, le hasard étant limité par la satisfaction de relations raisonnables d'unité à unité. Chacun des plans engendrés était alors testé à partir des tables de contraintes prédéfinies à partir d'une indétermination de son degré de satisfaction à ces critères.

Théoriquement parlant, en 1971, James Gips et George Stiny développent les Shape Grammars (grammaires de formes) qui définissent des règles de transformations établies comme un outil computationnel génératif. Ceci permet de mettre en place de nouveaux catalogues de formes et de structure. C'est l'ouverture du champ du design génératif.

En mai 1973, se déroule à Paris un séminaire sur l'allocation spatiale. « L'allocation spatiale consiste à localiser et à organiser des éléments dans un espace (à deux ou trois dimensions). Ces éléments peuvent être de nature différente, et l'enveloppe dans laquelle on les place plus ou moins précisée. » Ceci correspond à la définition de l'allocation spatiale par Boudier et al. (1973).

Au cours de cette conférence nombre de théoriciens et praticien de l'allocation spatiale se sont réunis. On retrouve dans le compte rendu de ce séminaire un large panel des théories émergentes à l'époque sur le thème de l'allocation spatiale. Nombre des études présentées interrogent et explorent l'allocation spatial sous l'angle de l'utilisation de l'outil informatique pour résoudre ces problèmes.

Pour assurer la pertinence de l'utilisation de l'outil informatique pour résoudre ces problèmes, on peut évoquer l'étude suivante. En Mars 1971, J. Schneider publie dans le *Journal of the American Institute of Planners* un article intitulé Solving urban location problems : human intuition versus the computer. Dans cet article, est comparé l'approche humaine d'un problème, celle de 17 étudiants en urbanisme, et la recherche de solution par ordinateur. La conclusion de cette expérimentation est que les solutions fournies par les étudiants sont presque aussi bonnes que les meilleures solutions fournies par l'ordinateur. L'auteur conclut en pensant que l'ordinateur peut donc être un outil de mesure des solutions produites par l'homme et une aide à l'amélioration de ces solutions.

Au cours de ces mêmes séminaires est abordé un article de C.M. Eastman, nommé Automated Space Planning and a theory of design : a review, il s'agit d'une revue des différents types de programmes d'allocation spatiale, datant d'avril 1972. L'auteur conclut en explicitant les propriétés que devrait, selon lui, comporter la structure idéale d'un programme de recherches de plans automatiques.

De plus en 1977, Christopher Alexander développe une théorie des types directement corrélée à l'idée émergente de la programmation informatique. Ils définissent 253 modèles pour organiser et construire toutes les formes spatiales : villes, quartiers, bâtiments, jardins, mobilier, etc. Il les nomme les patterns.

Les années 1990, outre le développement des capacités de calculs des ordinateurs et leur démocratisation dans le milieu professionnel va être synonyme de développement

conceptuel dans le monde de la conception architectural assisté par ordinateur. De manière plus large, la période des années 1990 à 2000 est celle de la large informatisation de la profession d'architectes (Tapie, 2000).

1990, l'ouvrage the logic of Architecture va interroger les grammaires formelles à la lumière des récentes avancées dans les domaines de l'intelligence artificielle, des sciences cognitives et de la théorie computationnelle.

Fin des années 90 on assiste à une mise en place de plus en plus opérationnel de certains de ces concepts.

1998 Karl Chu développe, grâce à des automates cellulaires, des entités autoorganisées qui répondent à des mutations aléatoires des codes numériques et déploient alors des configurations spatiales inédites.

La même année, l'atelier Objectile initie une possible production d'objets singuliers et uniques produits industriellement « du fichier à l'usine ». Ces objets sont conçus à partir de fonctions mathématiques développées à partir d'un programme TopSolid.

Enfin en 2000, l'entreprise Autodesk, par le biais d'un algorithme génétique, une population de cent chaises est définie puis à travers divers croisements une nouvelle génération hybrides est désignée. Parmi cette population ont été conservés les individus possédant les meilleures capacités structurelles.

L'ensemble de ces théories et expérimentation marque le début de l'histoire de la relation entre conception architecturale et informatique. Il est, à présent nécessaire de focaliser notre étude sur la période actuelle. Notamment sur les démarches chez les professionnels et les étudiants qui visent à programmer des fonctions d'optimisation de la conception architecturale. Car l'étude de l'évolution des pratiques chez les architectes est rare, mais nécessaire, et de nombreuses recherches restent à mener sur le sujet pour comprendre ces transitions et les accompagner au mieux.

## 2 Les enjeux de l'optimisation dans le processus de conception architecturale.

La pratique de l'optimisation dans le processus de conception architecturale est une discipline à part entière dans le monde de la relation entre conception architecturale et informatique, on la nomme aussi ADO pour Architectural Design Optimisation en anglais. L'ADO et ses applications à l'architecture ne sont pas un sujet très référencé dans la littérature (Wortmann (2018)) bien que la littérature soit extensive à propos des larges bénéfices de l'optimisation assistée par ordinateur pour les matériaux et l'économie d'énergie.

L'ADO regroupe l'ensemble des techniques permettant l'optimisation, à l'aide de l'outil informatique, d'un projet architectural au moment du processus conception.

De plus il est nécessaire de noter qu'à l'inverse des champs de conception techniques, les architectes ont été plus lents dans leur adoption des technologies digitales (Flager and Haymaker (2009)). Certains évoquent comme raison un scepticisme vis-à-vis de l'adoption des ordinateurs pour faire de la conception architecturale.

Pour illustrer ce scepticisme, on peut citer l'étude suivante sur un des aspects de l'optimisation, qu'est la simulation des performances d'un bâtiment par l'outil informatique. Une étude en ligne menée auprès de 118 architectes professionnels à propos de leur utilisation de la simulation de performance (Soebarto et al. (2015)), indique que la plupart des sondés ont répondu préférer développer leur conception par

le biais de dessins à la main, de maquette physique ou encore par le biais de logiciels non paramétriques. Dans le cas français, on peut également citer, un scepticisme provenant de la « culture beaux-arts » qui est encore fortement ancrée dans la formation initiale des écoles d'architecture (Hochschied et al. (2018)).

Pour revenir à l'ADO et son manque de popularité, on peut évoquer également le fait qu'il n'y a qu'un faible nombre d'outils d'optimisation qui permettant une utilisation dans le domaine de la conception architecturale sans avoir à recourir à des connaissances particulières de programmation informatique, et un nombre encore plus restreint de données sur les l'état de l'art des algorithmes d'optimisation en architecture qui permettent une visualisation de l'optimisation des résultats (Wortmann (2018)).

Mais les conclusions de Wortmann dans sa thèse de 2018, souligne, entre autres, que la conception paramétrique et que les performances de simulation ont de grandes chances de se diffuser de plus en plus dans le futur. Cette thèse souligne justement le manque de connaissance à propos des optimisations dans les processus de conception architecturale. Mais également les mauvais jugements des méthodes d'optimisation, réputée de faible intérêt dans l'optimisation des bâtiments. Ainsi que le manque d'état de l'art vis-à-vis de la pratique de l'optimisation de la conception architecturale, et le manque d'outils d'optimisation faciles à utiliser. Enfin la difficulté d'intégration de l'optimisation dans le processus de conception architecturale.

### 3 Exemple de pratiques de l'optimisation de la conception architecturale

Pour illustrer les pratiques d'optimisation, nous détaillons dans cette partie une courte liste non exhaustive d'exemple de la pratique d'ADO au 21<sup>e</sup> siècle. La taille de cette liste est principalement due au fait qu'il y a peu de structures qui documentent leur utilisation de l'optimisation de leur conception architecturale. Néanmoins on peut citer les exemples suivants pour lesquels une part significative de leur apparence est due à des simulations et des optimisations conduites, le plus souvent par des équipes de consultants spécialisés, intégrées, ou non, à l'agence d'architecture.

Le London City Hall, par l'agence d'architecture Foster + Partners doit sa forme à des optimisations de l'ensoleillement du bâtiment, tandis que la sale des débats doit sa forme à des simulations acoustiques (Whitehead 2003). Ces simulations sont le fruit du travail de groupe de consultant ARUP.

Le Louvre d'Abu Dhabi a été conçu par les ateliers Jean Nouvel. Les experts structurels ont optimisé non seulement le poids du dôme, mais aussi la régularité de la structure, régularité primordiale pour l'esthétique du motif formé ainsi que les panels de régulation de la luminosité se trouvant sur le dôme. (Tourre and Miguet (2010)).

À l'instar du Louvre d'Abu Dhabi, « the Futur of Us pavilion » conçu par SUTD's Advanced Architecture Laboratory a vu sa génération et sa documentation automatisée (Wortmann and Tuncer 2017). Ce pavillon à une enveloppe optimisé en termes de densité et est ainsi susceptible de faire l'objet d'une optimisation environnementale.

### 4 L'optimisation, un travail d'architectes ?

Comme vu dans la partie I.3. L'optimisation est souvent aujourd'hui l'affaire de consultants extérieurs au bureau d'architecture, ou alors intervenant lors d'un processus ultérieur à la première phase de conception architecturale. C'est également ce que

soulignent Wortmann (2018) et Loukia (2012) en évoquant le fait que les consultants spécialisés (ingénieurs en structure, en environnement) participent activement à la conception architecturale sur certains points. Et que souvent ces ingénieurs pratiquent de l'optimisation dans leurs propres domaines, domaines qui impliquent bien souvent une collaboration avec les architectes au moment du processus de création. De plus, ces co-concepteurs rencontrent des problématiques et des situations similaires que ceux rencontrés par un architecte.

Pourtant un chercheur du nom de Schaffranek énonce dans une étude de 2012 que « optimizing [is] a task for the architect » (traduction : l'optimisation est une tâche pour les architectes) et que « we architects have to be aware of such developments [in ADO], and argue what optimization of architecture is about » (traduction : nous architectes devons être conscient d'un tel développement (celui de l'ADO), et remarquer les optimisations de l'architecture que cela concerne).

Mais la « peur » de l'outil informatique n'est pas si récente. Dès les années 1980, à propos de la CAO, des concepteurs avaient évoqué leur réticence à utiliser la CAO dans leur conception pour le manque de liberté du l'outil et l'ambiguïté que cela provoquait entre le dessin à la main et celui à l'ordinateur (Ehlers et al. 1986 ; Turkle et al. 2009).

C'est aussi une critique évoquée de nos jours, comme dans l'étude de Stals et al. (2018). Où certains des sondés déclaraient « la recherche formelle doit découler d'un processus de réflexion, d'un contexte, de contraintes... pas d'outils. L'outil doit rester à sa place d'aide à la modélisation, à la rationalisation, mais ne pas prendre le pas sur la conception. »

C'est, en partie, face à ces idées et ces plaintes que vient se heurter aujourd'hui le développement de l'ADO dans la pratique de la conception architecturale.

Mais comme le dit Wortmann (2018) « there is no doubt that computers have an increasing role in architectural design processes; even strong critics of the use of computers for the architectural design conclude that architects need to adapt to new technological realities (e.g., Scheer 2014; Llach 2017). (Traduction : il n'y a aucun doute que les ordinateurs ont un rôle d'importance croissante dans les processus de conception architecturale : même les fortes critiques contre l'utilisation des ordinateurs pour la conception architecturale concluent que les architectes ont besoin de s'adapter à la nouvelle réalité technologique).

C'est donc l'ensemble de ce débat sur la pratique de l'ADO qui pousse à étudier dans la suite la situation de l'ADO dans la pratique actuelle de la conception architecturale, et plus précisément de la pratique de la programmation de fonctions d'optimisation de la conception architecturale.

## II Etude des données sur l'utilisation, de nos jours, des outils de programmation de fonction d'optimisation de la conception architecturale.

Nous nous focalisons au cours de cette partie sur la situation actuelle de la programmation de fonction d'optimisation au sein de la population des étudiants et des professionnels pratiquants. Pour ce faire nous allons procéder en trois temps. Nous allons, premièrement, par le biais d'une étude internationale de 2017 exposer la situation actuelle vis-à-vis de la pratique de la modélisation paramétrique puis de l'optimisation dans la conception architecturale. Deuxièmement, nous nous pencherons sur la situation professionnelle actuelle pour voir les possibilités offertes de nos jours en matière d'optimisation de la pratique architecturale. Troisièmement, à partir des résultats d'une enquête sur un panel d'étudiants nous interrogerons la pratique des étudiants de l'optimisation de la pratique architecturale. Nous avons ici pour objectif de dépeindre le contexte actuel de la pratique de l'optimisation de la conception architecturale.

### 1 Situation vis-à-vis de la pratique de l'optimisation dans la conception architecturale.

#### a La modélisation paramétrique dans les processus de conception

La première étape avant de se lancer dans la programmation de fonction d'optimisation de la conception architecturale, est de mettre en place une modélisation paramétrique du projet considéré. Une fois seulement le projet paramétré alors on peut envisager d'optimiser ces différents paramètres au cours de la conception.

Il est donc nécessaire de s'informer de la situation de la modélisation paramétrique avant de se pencher sur l'optimisation de ces paramètres.

De manière traditionnelle, le dessin à main levée est associé à la conception conceptuelle alors que la modélisation paramétrique est vue comme un outil n'intervenant que plus tardivement lors de la conception détaillée du projet. Mais il faut souligner que la modélisation paramétrique est de plus en plus utilisée pour explorer les différents concepts dès le début de la réflexion, d'après l'étude de Sanguinetti et Abdelmohsen (2007). L'avantage de la modélisation paramétrique est qu'elle permet à l'architecte de définir des projets dont il peut gérer l'ensemble des paramètres qu'il aura lui-même défini. Permettant alors à l'architecte de pouvoir « générer, modifier, comparer et évaluer très tôt dans le processus de multiples variantes et modèles d'objets conçus à partir de ces règles, elles-mêmes adaptable » comme il l'est dit dans l'étude de Stals et al. (2018). Cette étude s'appuie sur le fait que « lorsque ces variantes sont maîtrisées en regard de leurs tenants et aboutissants [cela] enrichit considérablement la démarche formelle et conceptuelle, ouvrant un champ d'exploration potentiellement plus large que celui envisagé par la seule conscience humaine. »

À cela nous pouvons ajouter la conclusion des écrits de Yu, Gero et Gu (2015). Ces derniers évoquent le fait que les outils de conception paramétriques permettent aux architectes de gérer les formes complexes, les paramètres et les données de manière efficace. Ainsi les architectes usant de ces techniques arrivent à des solutions architecturales plus rationnelles, mais aussi cela leur permet de développer des modèles

alternatifs au même moment et à tout moment du processus de conception architecturale.

Pour finir sur le cas de la modélisation paramétrique et de son importance dans la pratique architecturale, soulignons que de nombreuses études (de Boissieu, 2013 ; Shelden, 2002) étudient les apports de l'utilisation de ces outils dans le processus de conception architecturale. Mais leur usage est loin de s'être démocratisé. Une étude effectuée sur un panel d'architecte belge montre que 51.5% des architectes interrogés n'ont jamais entendu parler du terme « modélisation paramétrique », et seulement 14.4% d'entre eux se sentent concernés par l'arrivée de ces outils dans leur profession (Stals et al., 2017).

Sachant que l'optimisation de la conception architecturale nécessite l'utilisation d'outil de modélisation paramétrique, il est alors bon d'avoir en tête les chiffres évoqués précédemment pour la suite.

### b L'optimisation de la conception architecturale.

Plusieurs études ont déjà été menées sur la situation de la pratique de l'optimisation de la conception architecturale (ADO pour Architectural Design Optimization). Nous exposons ici les résultats qui nous permettent de dépeindre la situation de nos jours de la pratique.

En Avril 2017, Judyta Cichocka, Edgar Rodriguez Ramirez et Will Neil Browne publie Optimization in the architectural practice : an international survey. Cette étude s'inscrit également dans l'étude de l'Architectural Design Optimization (ADO). Les auteurs cherchent à identifier les attentes des utilisateurs d'outils d'optimisation et de définir les limites à une diffusion large de l'adaptation aux outils d'optimisation dans la pratique architecturale. L'étude est basée sur une enquête de décembre 2015 à février 2016 sur 165 architectes stagiaires et architectes confirmées de 34 pays différents.

Sur le panel de praticiens, notons que 83% d'entre eux utilisaient déjà un package de logiciel de design paramétrique (Grasshopper3D, Dynamo for Autodesk Revit, Generative components).

Lorsqu'il est demandé à ces 83% quel logiciel ils utilisaient, 89.9% d'entre eux ont affirmé utiliser Grasshopper3D for Rhinoceros3D. En seconde position 6.6% utilisaient Dynamo for Autodesk Revit. Dès 2015, on note une domination de Grasshopper3D parmi les logiciels d'ADO au sein de la population académique et professionnelle (Vierlinger 2013 ; Martyn 2009).

## OPTIMIZATION IN THE ARCHITECTURAL PRACTICE

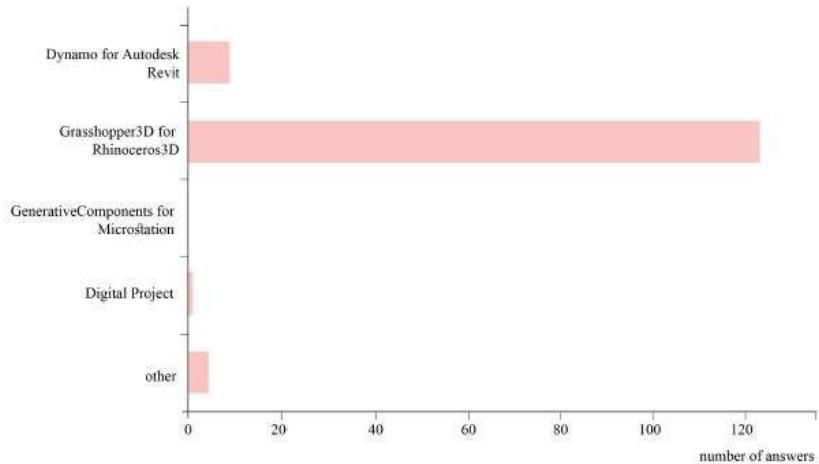


Diagramme 1 : La popularité des outils paramétriques parmi les sondés. Extrait de Cichocka et al. (2017).

L'étude met en avant l'utilisation des outils de programmation parmi les pratiquants d'ADO. Le sondage rapporte que 57.6% des sondés déclarent utiliser des outils de programmations dans leur activité professionnelle. Les logiciels utilisés et la proportion de leur utilisation se répartissent de la manière suivante :

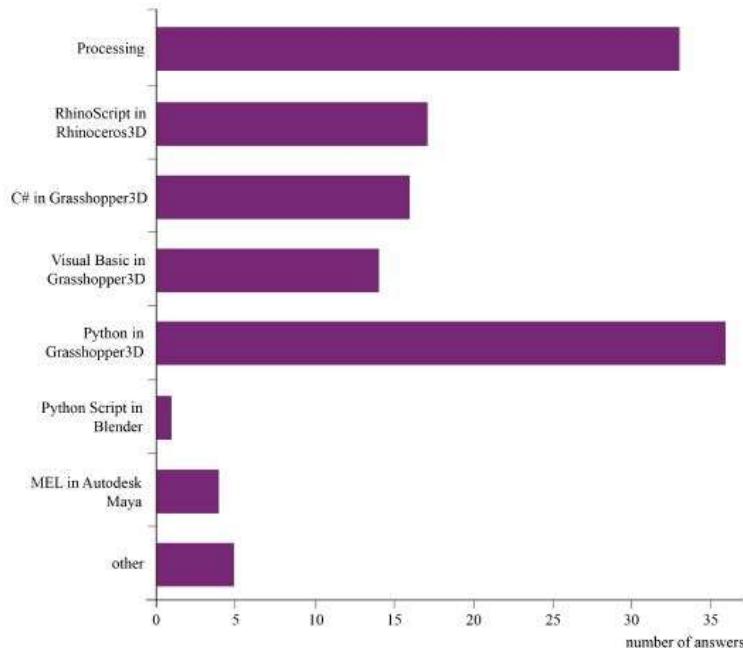


Diagramme 2 : Les scripts informatiques et langages de programmations sélectionnés et utilisés par les architectes stagiaires et professionnels dans leur pratique. Extrait de Cichocka et al. (2017).

On note ici une domination pour le logiciel Python appliquée à Grasshopper3D. Il est bon de souligner également que la majorité des langages de programmation les plus plébiscités dans le graphique précédent sont utilisés pour Grasshopper3D.

Mais ce que révèle également l'enquête c'est que 87% des sondés souhaiteraient pouvoir optimiser leur design sans avoir à coder de script. Ceci suggère donc l'importance qu'il y a développer un logiciel ne nécessitant aucun code pour faire de l'ADO et la rendre plus facile d'accès.

L'étude se penche ensuite sur les caractéristiques du programme d'optimisation idéal pour le panel d'individus sondés. Les résultats sont que les sondés sont à la recherche d'un outil d'optimisation permettant d'optimiser plusieurs critères en même temps et que 93% d'entre eux souhaiteraient comprendre les processus d'optimisation mis en jeux, et 54% préféreraient avoir un contrôle total du processus d'optimisation. De plus, 91% des sondés souhaiteraient utiliser un programme d'optimisation suivant la méthode du « human in the loop » (traduction : Humain dans la boucle), qui permet à l'humain d'agir à tout moment dans la boucle d'optimisation pour sélectionner des modèles d'optimisation qui lui semble intéressante. Enfin le résultat important également souligné par cette étude est le type d'optimisation préférentiel du panel.

À la question « quel aspect de votre conception souhaiteriez-vous optimiser ? » (Question à choix multiple) les réponses suivent le diagramme suivant :

*Which aspects of your design would you like to optimize? (multiple choice)*

- *daylight availability*
- *circulation*
- *layouts*
- *views*
- *structure*
- *general shape for building code/regulations*
- *other*

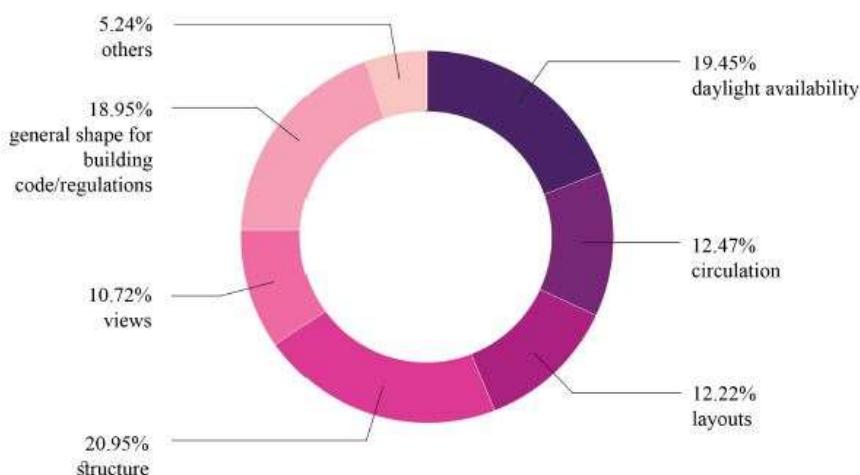


Diagramme 3 : les caractéristiques architecturales à optimiser sélectionnée par les sondés.  
Extrait de Cichocka et al. (2017).

Les conclusions de l'étude soulignent que l'ensoleillement, la structure et la géométrie sont les trois caractéristiques principales que cherchent à optimiser les praticiens ayant répondu à cette enquête.

Ces données exposent l'état actuel pour l'ADO dans un contexte international.

A nuancer par le fait que seulement des personnes intéressées par les dernières techniques de conception et d'optimisation en architecture ont répondu à cette enquête. Il n'en reste pas moins une base intéressante de l'état de la situation actuelle.

Pour résumer les informations extraites de cette étude. On peut dire qu'il y a une prédominance pour le logiciel Grasshopper3D dans l'ADO. Que l'optimisation de la conception architecturale se fait surtout au niveau des paramètres d'ensoleillement, de structure et de la géométrie du projet. Enfin, cette étude montre, qu'il y a une réelle demande pour des logiciels plus facile d'accès, permettant de faire de l'optimisation multicritère tout en laissant beaucoup de possibilités de contrôles à l'utilisateur dans le processus d'optimisation.

## 2 L'optimisation de la conception architecturale dans le marché des services pour l'architecture.

Pour avoir des informations plus détaillées de la pratique parmi les professionnels nous nous penchons ici sur l'étude des offres d'optimisation offerte par des professionnels pour les concepteurs.

L'étude exposée dans la partie précédente nous présente le cas de professionnels qui déclarent à 57% faire de l'ADO dans leur projet. Cela représente le cas de professionnels qui codent eux-mêmes. En outre, l'étude expose les caractéristiques d'un logiciel idéal, aussi bien du point de vue du nombre de critères qu'il doit pouvoir optimiser en même temps que le type de critère ou encore la liberté qui doit être laissée à l'utilisateur. Cette étude peut alors être pertinente pour les entreprises qui proposent des services d'ADO pour leur client. Ces entreprises correspondent aux consultants évoqués dans la partie I. Ceux-là mêmes qui viennent en appui des agences d'architecture. Mais ceux présentés ici donnent une courte liste non exhaustive d'exemple de la pratique où les consultants conçoivent et optimisent avec l'architecte et pendant la conception.

Pour voir ce qu'il en est dans la pratique, nous exposons par la suite les pratiques d'ADO de quatre entreprises proposant à ses clients de l'ADO pour leur projet architectural. Nous nous intéressons ici à des entreprises dont l'activité principale est l'ADO. Le but est de percevoir par cet échantillon, le type d'offre proposée sur le marché professionnel, de dépeindre des cas d'utilisation professionnels de l'ADO en tant que service, pour avoir une vision de la situation actuelle et de l'avancé des services d'ADO disponibles. Cette partie n'est pas un listing exhaustif ni une étude approfondie de la pratique de l'ADO chez les professionnels.

Le projet de recherche français MESH (pour Morphology – Environment – Sustainability – Human Comfort) est un projet de recherche, au sein de l'agence Franck Boutté Consultants, initié en 2016. Il s'agit d'une optimisation à l'échelle de l'ilot de la forme des bâtiments implantés. Le service propose une optimisation multicritère en fonction des besoins de l'urbaniste en charge du projet. Les critères d'ensoleillement, de structures, de formes et de vis-à-vis sont centraux de cette optimisation. Ce projet fonctionne à l'aide du logiciel Grasshopper3D et de Rhinoceros3D. Ce service étant également le fruit d'un projet de recherche, il est donc en constante amélioration. C'est pourquoi l'urbaniste et les responsables du projet sont en discussion continue sur le processus d'optimisation. Ainsi l'urbaniste peut agir à, presque, tout moment du processus d'optimisation.

L'entreprise norvégienne SpaceMaker Ai. Il s'agit d'une entreprise fondée en 2016. Le service proposé est une optimisation à l'échelle du site de construction en fonction de la réglementation, des performances environnementales des préférences du client et de celle du marché. À l'aide d'un outil d'intelligence artificielle, dont les informations sur le script informatique n'est pas public, l'entreprise propose des options pour optimiser l'occupation de site pour des concepteurs. Le concepteur va intervenir en début et en fin d'optimisation. Il arrive avec des choix architecturaux et des paramètres à optimiser et l'entreprise va lui fournir un panel de solutions optimisées après utilisation de leur logiciel. L'entreprise, va vendre ici, un service et non pas un produit physique manipulable par le concepteur lui-même.

DesignToProduct est une agence suisse et une entreprise fondée en 2007 qui est la première à proposer à ses clients un service de gestions des données orientées pour la production. En 2003, en utilisant un algorithme basé sur une méthode évolutive ils dimensionnent un parking dont la structure est optimisée en termes de diamètres des poteaux et d'espacement de ces derniers également. Ce projet d'ADO leur a permis de définir des solutions optimisées, pour les concepteurs, non envisagées par ces derniers. Le cas de cette agence est également intéressant, car elle a participé à des projets où elle n'était pas du tout consultée de la même manière. Par exemple pour le Centre Pompidou à Metz, conçu par Shigeru Ban, était déjà en construction lorsqu'il a été demandé à DesignToProduction de coder les plans de fabrication pour la structure du toit en bois à courbe double. Les charpentiers n'étaient pas capables de produire les plans de fabrication pour leur machine de CNC (Computer Numerical Control, à traduire par machine-outil à commande numérique). Ce sont les charpentiers et non les architectes qui ont contacté DesignToProduct (Schaffranek (2012)). Là encore on a un exemple de processus architectural reléguant au plan d'étape hors conception une étape d'optimisation et d'utilisation de l'outil paramétrique.

L'entreprise américaine testfit.io est une entreprise fondée en 2017. Le service proposé est de la conception générative de plan de bâtiment en fonction des paramètres définis par l'architecte. Le service propose une combinaison d'algorithmes génératifs couplé à des filtres permettant une sélection des propositions algorithmiques fournies, le tout étant codé en langage C. Il y a ici la volonté de développer un logiciel que le concepteur manipule lui-même pour obtenir des plans optimisés pour son terrain et selon ses critères. On est ici dans la vente d'un produit et non pas d'un service. On a alors un outil voulant s'inscrire dans le processus de conception architecturale pour optimiser cette dernière.

Les informations collectées à propos de ces entreprises, créées récemment pour la plupart, tendent à suggérer qu'il y a un engouement pour ce sujet. Mais aussi une niche économique dans laquelle ces entreprises tentent de s'installer. Ces entreprises pressentent peut-être une utilisation future importante de cette technologie. Comme le laissait penser l'étude de la partie I.1.b. où il nous est indiqué que 83% des sondés utilisent déjà de la conception générative en amateur.

Avec les réserves évoquées quant à la non-exhaustivité de la liste précédente. L'apparition de ces entreprises tend à nous laisser penser que le contexte actuel est propice à une utilisation d'algorithme d'optimisation dans l'architecture. Les professionnels ont déjà commencé cette utilisation.

### 3 L'optimisation de la conception architecturale dans la pratique des étudiants en architecture.

Pour avoir une vue complète de l'état de la situation vis-à-vis de l'optimisation de la conception architecturale, nous avons réalisé une enquête afin de sonder un panel d'étudiant et de professionnel. Les modalités de la mise en place de cette enquête et du panel sondé sont exposées dans l'annexe correspondant à cette étude : l'annexe n°1

Nous nous intéresserons ici aux résultats des étudiants. Un panel de 150 candidats à répondu à ce questionnaire. Sur les 150 participants 103 étaient des étudiants.

Parmi les étudiants seulement, 35.9% d'entre eux ont déjà utilisé un logiciel pour programmer, au moins en partie, un projet d'architecture.

Par la suite parmi ceux qui ne l'ont jamais fait seulement 33.3% ont envisagé d'utiliser un logiciel pour programmer un projet d'architecture.

À cela nous pouvons ajouter que 30% des 35.9% précédents, soit 11 étudiants, ont déclaré avoir déjà programmé une fonction pour optimiser leur conception architecturale. Et 27%, toujours de ses 35.9%, soit 7 étudiants l'on seulement envisagé.

Il a ensuite été demandé au 35.9% le logiciel qu'ils utilisent. La réponse était libre. 56.8% d'entre eux ont répondu qu'ils utilisaient Grasshopper3D. Dynamo et Revit arrivant en Seconde position. La domination de Grasshopper3D vient confirmer les résultat mis en avant dans l'étude de Cichocka et al. (2017).

On peut donc souligner la prédominance actuelle du logiciel Grasshopper3D chez les étudiants qui s'intéressent à l'optimisation de leur conception architecturale. La domination de Grasshopper3D vient confirmer les résultat mis en avant dans l'étude de Cichocka et al. (2017).

Ainsi le point souligné par cette enquête est la faible proportion d'étudiants qui pratiquent de manière effective la programmation de leur conception architecturale et l'optimisation de leur conception architecturale par l'outil informatique. Sachant que les projets des étudiants répondent à une demande de leur établissement, il est alors pertinent d'observer si toutes les écoles permettent à leurs étudiants de travailler avec ces outils.

### 4 L'optimisation de la conception architecturale dans l'enseignement en école d'architecture.

Le paragraphe précédent nous expose la faible proportion d'étudiants se revendiquant comme utilisateur de programme pour programmer ou optimiser l'un ou plusieurs paramètres de leur architecture. Or il est un fait que la pratique des étudiants est conditionnée/influencé par les possibilités que leur offrent leurs établissements. Il est donc légitime de se poser la question de la possibilité, ou non, dans les écoles d'architecture de pouvoir suivre des cours d'apprentissage de logiciel permettant une programmation de fonction d'optimisation de la conception architecturale.

Pour se faire nous avons considéré les points suivants :

Notre étude se concentre sur la France et les 22 écoles officiellement reconnues par l'ordre des architectes et le ministère de la Culture française, comme apte à délivrer un diplôme d'architecte. Ces écoles sont les ENSA de : Paris-Belleville, Malaquais, Marne-

La Vallée, Paris-Val de Seine, Versailles, Paris-La Villette, Bordeaux, Bretagne, Clermont-Ferrand, Grenoble, Lille, Lyon, Marseille, Montpellier, Nancy, Nantes, Normandie, Saint-Étienne, Strasbourg, Toulouse. Ainsi que l'INSA de Strasbourg et l'ÉSA Paris.

D'après Cichocka et al (2017), Grasshopper3D étant le logiciel dominant en matière d'ADO nous nous concentrons pour cette étude sur la possibilité de pouvoir suivre un enseignement de ce logiciel dans les écoles citées précédemment.

L'étude s'effectue par la recherche du mot clef « Grasshopper » dans les descriptifs de cours et programme d'études des écoles étudié, et cela pour les cycles de licence et de master. Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

École	Enseignement de Grasshopper3D
Marseille	informations non mentionnées dans les programmes d'études
Toulouse	disponible sur les postes informatiques mais pas d'information vis-à-vis d'un quelconque enseignement
Bordeaux	informations non mentionnées dans les programmes d'études
Montpellier/La Réunion	Enseignement proposé en licence et en master
Bretagne	informations non mentionnées dans les programmes d'études
Saint-Etienne	informations non mentionnées dans les programmes d'études
Nantes	enseignement proposé en master
Nancy	enseignement proposé en master
Lille	enseignement proposé en licence et en master
Clermont-Ferrand	informations non mentionnées dans les programmes d'études
Paris-La Villette	enseignement proposé en master
Grenoble	enseignement proposé en master
Paris-Belleville	enseignement proposé en licence et en master
Marne-La-Vallée	enseignement proposé en master
Lyon	informations non mentionnées dans les programmes d'études
Strasbourg	informations non mentionnées dans les programmes d'études
Paris-Malaquais	informations non mentionnées dans les programmes d'études
Paris-Val de Seine	informations non mentionnées dans les programmes d'études
Normandie	disponible sur les postes informatiques mais pas d'information vis-à-vis d'un quelconque enseignement
Versailles	enseignement proposé en licence et en master
École Spéciale d'Architecture	informations non mentionnées dans les programmes d'études
INSA de Strasbourg	informations non mentionnées dans les programmes d'études

Tableau 1 : Possibilités de suivre un enseignement de grasshopper3D au sein des écoles délivrant un diplôme d'architecture en France, selon les données fournies sur leur site internet respectif.

On a donc 40% (9 écoles) qui revendentiquent clairement un enseignement de grasshopper3D dans les programmes d'études disponibles sur internet 18% des écoles renseignent sur la possibilité d'un enseignement de Grasshopper3D en licence et en master.

10% (2 écoles) annoncent qu'il est possible d'utiliser grasshopper3D sur les postes informatiques, mais ne précisent pas s'ils dispensent un enseignement du logiciel.

50% des écoles ne mentionnent pas le mot clé « grasshopper » dans ses programmes d'enseignement, ni en licence ni en master.

Attention, il faut prendre avec précaution ces chiffres. Il ne reflète pas forcément une réalité de l'enseignement de grasshopper3D au sein des écoles d'architecture. Les sites peuvent ne pas être à jour, le mot clé peut ne pas être mentionné dans les programmes d'étude, mais le logiciel est effectivement enseigné dans la pratique. Ces paramètres sont à prendre en compte pour nuancer les résultats précédents.

Néanmoins, faire apparaître clairement le mot « grasshopper » dans les programmes d'étude montre la mise en avant de la possibilité d'apprendre effectivement ce logiciel dans l'école concernée. On peut donc souligner que 60% des écoles françaises n'en sont pas au stade d'affirmer la possibilité d'apprendre ce logiciel au sein de leurs murs, d'après les données fournies par leur site internet.

### III Problématique et Hypothèses

#### 1 Problématique

Les parties précédentes nous ont exposé deux choses. La première est un contexte historique. Elle nous détaille l'apparition et la mise en place au cours de l'histoire du certain nombre de méthodes, techniques et expérimentation qui cherchent à optimiser la conception architecturale, par le biais de l'outil informatique. Cette première partie nous a également renseignés sur les difficultés de la mise en place de nouveaux outils informatiques dans les processus de conception architecturale.

La seconde partie détaille les activités, de nos jours, parmi les étudiants et les professionnels de l'optimisation de la conception architecturale par le biais d'outil informatique. Elle nous a permis également d'évaluer, en partie, la situation et les pré dispositions du monde architectural vis-à-vis du développement d'outil informatique d'optimisation de la conception architecturale.

Le constat résultant donc de ces parties est le suivant. Il existe une population de concepteurs qui, de nos jours, utilise des outils informatiques pour optimiser un paramètre lors de leur conception architecturale. Dans notre époque actuelle, l'informatique prend une part de plus en plus prédominante. L'architecture fait partie des domaines où l'utilisation de l'informatique dans le processus de conception ne fait pas encore consensus et d'autant plus par le biais de la programmation de fonction d'optimisation. C'est donc pour préciser la phrase précédente et tenter d'établir les motivations qui poussent à l'optimisation de la conception assistée par ordinateur que nous allons nous pencher sur la problématique suivante. **Pourquoi et comment des concepteurs se tournent-ils vers une optimisation d'une ou plusieurs variables du projet par l'outil informatique au cours de la conception architecturale ?**

Avoir une réponse à ces questions nous permettra de compléter les informations sur cette pratique et comment elle s'emploie de nos jours. Ces informations sont susceptibles de permettre une meilleure adaptation voire transition vers ces méthodes pour le monde architectural.

Les données récoltées qui nous permettent d'ébaucher de premières réponses viennent de deux moyens de recherche.

Premièrement, un sondage auprès d'une large communauté de concepteur nous permet d'établir des données pour répondre, à la problématique posée.

Deuxièmement, quatre études de cas spécifiques ont été menées, une interview auprès d'un professionnel du secteur et trois analyses de la pratique d'étudiants. Ces études ont pour but d'approfondir et détailler les points soulevés par l'étude menée.

## 2 Hypothèses

Face à la problématique énoncée, des hypothèses sont émises. Il sera détaillé par la suite et par le biais des informations collectées si oui, ou non, ses hypothèses sont effectivement vérifiées.

La problématique soulève deux sous-questions ce qui amène à deux groupes d'hypothèses. Les hypothèses émises vis-à-vis de la question du Pourquoi (pourquoi des concepteurs se tournent-ils vers une optimisation d'une ou plusieurs variables du projet par l'outil informatique au cours de la conception architecturale ?).

Et celle concernant la question du Comment (comment des concepteurs se tournent-ils vers une optimisation d'une ou plusieurs variables du projet par l'outil informatique au cours de la conception architecturale ?).

### Les hypothèses du Pourquoi :

\_ La nécessité ou la simple volonté de se former pour imiter des architectures contemporaines qui, pour certaines, utilisent des formes toujours plus complexes nécessitant l'utilisation de l'outil informatique.

\_ La pure curiosité intellectuelle d'utiliser et d'exploiter un outil qui ouvre le champ des possibles de la conception architecturale, et pour lequel on pressent une utilité future.

\_ La recherche d'un gain de temps dans la conception, en s'affranchissant de certaines étapes de la conception déléguées à l'ordinateur.

\_ La recherche d'un gain d'efficacité dans la conception. La possibilité de générer des formes et des projets répondant à de nombreux critères qu'il aurait été complexe de gérer sans l'aide la puissance de calcul d'un ordinateur.

### Les hypothèses du Comment :

\_ Les formations d'architectes n'incluant que peu ou pas de cours de programmation avancée, les concepteurs vont avoir plus tendance à se tourner vers des logiciels de programmation visuelle plus facile d'accès, Grasshopper3D sera le logiciel principal. Cette hypothèse est inspirée des résultats l'étude de Cichocka et al. (2017).

\_ Aux premiers abords les concepteurs débutants, comme les étudiants, vont se limiter à l'utilisation de ces logiciels pour de l'optimisation de formes à l'échelle de l'édifice, car à priori plus simples, et donc plus accessible sans formation au préalable à la programmation informatique.

\_ Les connaissances nécessaires pour effectuer ce type d'optimisation nécessitent un apprentissage. Ainsi on peut être amené à penser que les concepteurs vont plus

facilement se tourner vers des formations initialement pour acquérir ces connaissances plutôt que de se former seul.

Une étude sur l'appréhension des outils de modélisation paramétrique en conception architecturale (Stals et al., 2018) avait mis en évidence le fait qu'avant de se plonger dans le sujet les architectes avaient les appréhensions suivantes. Il leur semblait que « les logiciels pourraient leur permettre de gagner du temps et de développer une « meilleure gestion » ». Mais aussi que « la flexibilité [via les paramètres] évoquée permet en effet « d'acquérir une grande liberté de conception » ».

De plus, concernant les aspects techniques, et donc la question du « Comment », les sondés de l'étude de Stals et al. (2018), parle de « complexité apparente » des logiciels, mais il est également mentionné que l'encodage de donnée est perçu comme un frein à l'usage de la modélisation paramétrique. Ces hypothèses concernent un sujet proche de celui étudié ici. Il est donc légitime que les hypothèses évoquées ici résonnent avec celle de l'étude de Stals et al. Il sera alors pertinent de comparer les conclusions en fin d'études avec celle de l'étude sur la modélisation paramétrique.

## IV Expérimentation et observations

Le travail de collecte de données pour répondre à la problématique s'organise de la manière suivante. Pour tenter de cibler, de manière globale, les comportements des concepteurs, nous nous sommes intéressés à un échantillonnage de cette population. Pour ce faire nous avons soumis à cet échantillonnage un sondage.

De plus, une interview auprès d'un professionnel pratiquant l'optimisation de la conception assistée par ordinateur a été réalisée. Enfin trois études des pratiques d'étudiants cherchant à concevoir une optimisation de leur conception ont été menées pour tenter d'apporter des réponses à ces problématiques.

### 1 Enquête sur la pratique de la programmation de fonction d'optimisation de la conception architecturale.

Le groupe Facebook du nom de « Primo ARCHI » regroupe une population de 25 538 membres (chiffres de décembre 2018) issues ou ayant un intérêt pour la conception architecturale. Le groupe Facebook du nom de « ENSAPLV 2014/2015 » regroupe 717 membres (chiffres de décembre 2018) principalement d'étudiants en master d'architecture ou de jeunes architectes, puisqu'il s'agit du groupe regroupant les personnes entrées dans un des cursus de l'ENSAPLV en 2014/2015. Ces groupes ont été pris comme échantillonnage pour le questionnaire détaillé par la suite. Cette population sondée regroupe des professionnels et des étudiants de tous horizons parmi la population des concepteurs architecturaux.

Il a donc été soumis à ces populations un sondage les questionnant sur leurs pratiques et leur usage de logiciel pour programmer des fonctions d'optimisation de leur conception architecturale. Ce questionnaire a pour but de nous d'apporter des réponses à la problématique évoquées précédemment. Les détails de mise en place ainsi que les résultats bruts de ce questionnaire sont disponibles dans l'annexe n°1.

150 individus ont répondu à cette enquête. En partant des résultats bruts obtenus par cette enquête nous avons réalisé une mise en forme nous permettant d'appréhender de manière plus lisible les résultats vis-à-vis de la problématique qui nous concerne ici.

Premièrement il est important de noter que sur les 150 participants à l'enquête, nous avons 69% d'étudiants pour 31% de professionnels. Avec une répartition de l'âge de la population étudiée suivante :

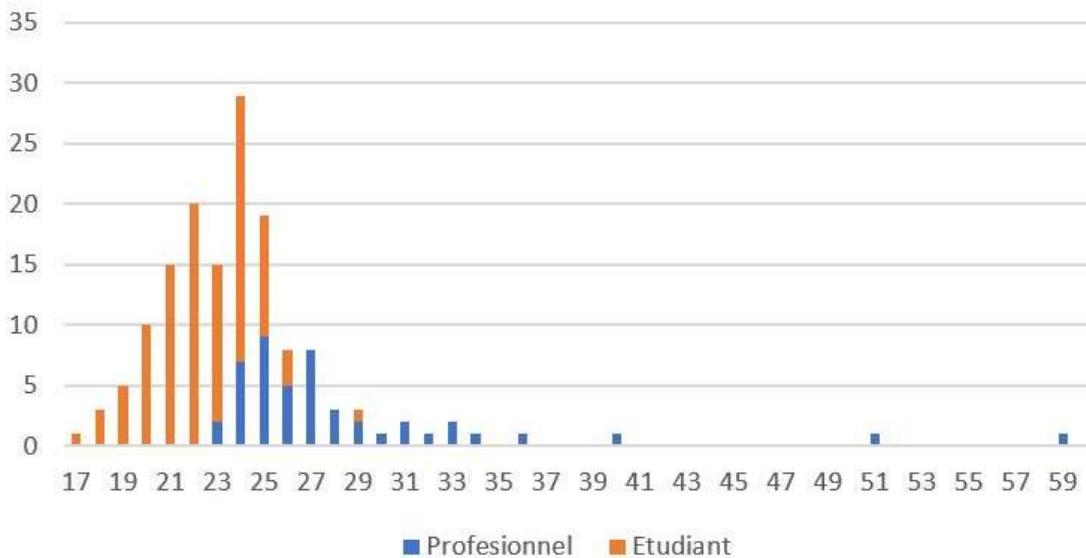


Diagramme 4 : Nombre de personne en fonction de l'âge pour population sondée pour le questionnaire

En outre parmi les professionnels, notre enquête touche des professions diverses dans les proportions suivantes :



Diagramme 5 : Professions (et leurs proportions) des professionnels ayant répondu à l'enquête.

On a donc une majorité d'architectes chez les professionnels.

Parmi les sondés de cette enquête, il est bon de souligner qu'à la question « avez-vous déjà utilisé un logiciel pour programmer, au moins en partie, un projet d'architecture ?» on trouve une disparité notable entre les professionnels et les étudiants. Les proportions étant les suivantes :

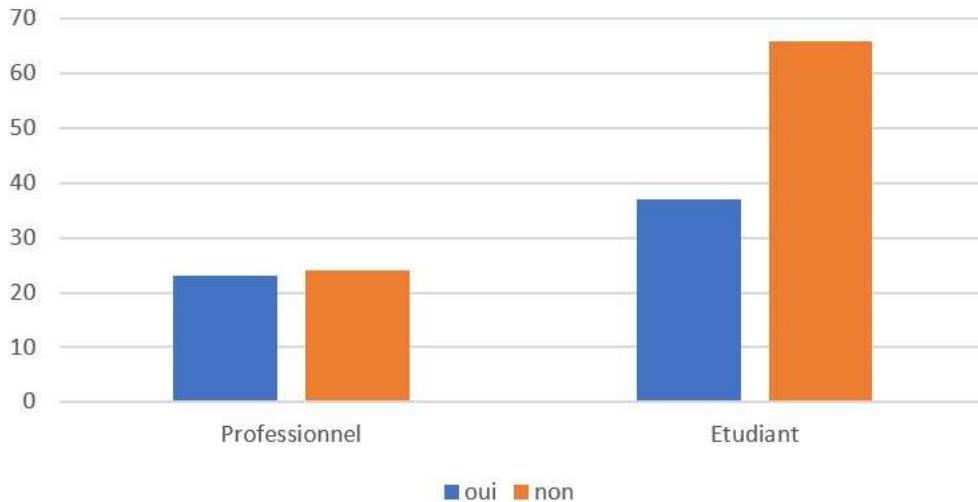


Diagramme 6 : réponse à la question « avez-vous déjà utilisé un logiciel pour programmer, au moins en partie, un projet d'architecture ?»

Une seconde question vient par la suite compléter cette information. En effet, parmi ceux qui ont répondu oui à la question précédente on a les résultats suivants à la question : « Avez-vous déjà utilisé votre outil pour programmer une fonction d'optimisation d'une ou plusieurs variables / performance d'un bâtiment (ex : espace, forme, structure...) ?»

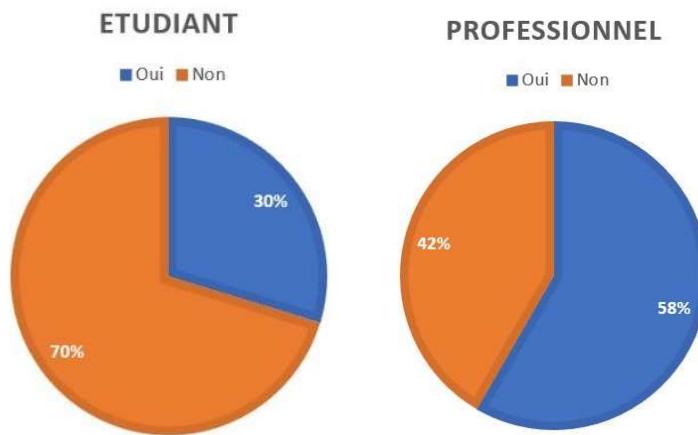


Diagramme 7 : réponse à la question « Avez-vous déjà utilisé votre outil pour programmer une fonction d'optimisation d'une ou plusieurs variables / performance d'un bâtiment (ex : espace, forme, structure...) ?»

On constate donc que la proportion d'étudiants concernés par la pratique est déjà faible lorsqu'il s'agit seulement de programmer en partie son projet, mais elle est d'autant plus réduite lorsqu'on parle d'optimisation des performances du bâtiment. Ces résultats laissent à penser que l'intérêt de la pratique semble, aujourd'hui, plus visible au sein de la population des professionnels que chez les étudiants.

Ainsi il est judicieux de se pencher sur les réponses aux questions qui donnent des informations sur le « Pourquoi » de la pratique.

### a Les données en relation avec le « pourquoi » de la pratique

Les résultats nous informent que les concepteurs se tournent vers ces pratiques de leur propre initiative dans 71% des cas contre seulement 38% des cas pour les étudiants.

Les motivations des populations se lançant de leur propre initiative dans la programmation du projet ont pu être regroupées en trois motivations qui sont :

\_la recherche d'un gain de temps,

\_la recherche d'un gain d'efficacité du projet (on pourrait également dire un gain de précision du dessin pour générer des formes et dispositions répondant au mieux au critère à optimiser)

\_la curiosité intellectuelle.

Si la recherche d'un gain d'efficacité est la principale raison évoquée lorsque l'on pose la question aux sondés. Il est bon de souligner qu'entre étudiants et professionnel le classement entre les trois motivations n'est pas identique :

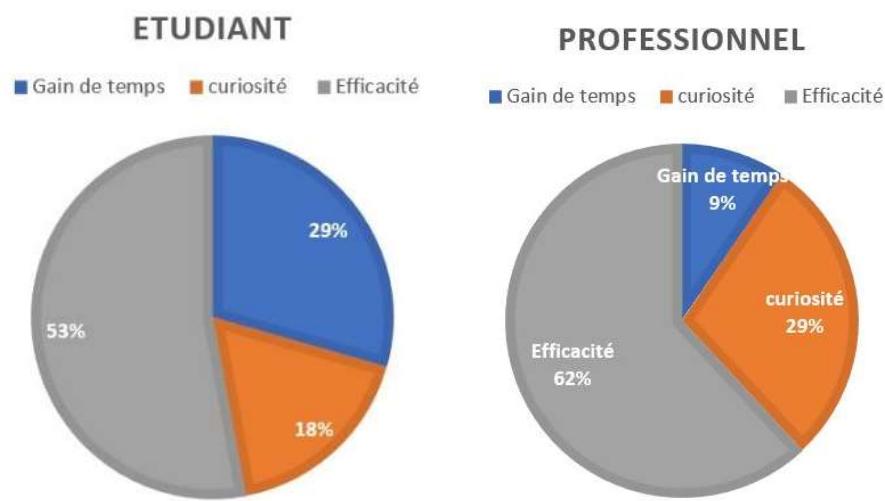


Diagramme 8 : répartition des familles de motivation qui poussent les concepteurs à se pencher sur le sujet de la programmation de fonction d'optimisation d'un ou plusieurs paramètres de la conception architecturale.

Ainsi les problématiques des étudiants sont plus portées par de la recherche d'optimisation de leur temps et de leur efficacité. Alors que pour les professionnels la seconde place est occupée par une motivation due à la curiosité intellectuelle, même si la recherche d'efficacité est tout de même de 9% supérieure à celle des étudiants.

Si on regarde maintenant les motivations qui poussent les employeurs des professionnels ou les enseignants/institutions à pousser leurs étudiants à faire de la

programmation au moins en partie de leur projet on retrouve en tête les mêmes arguments.

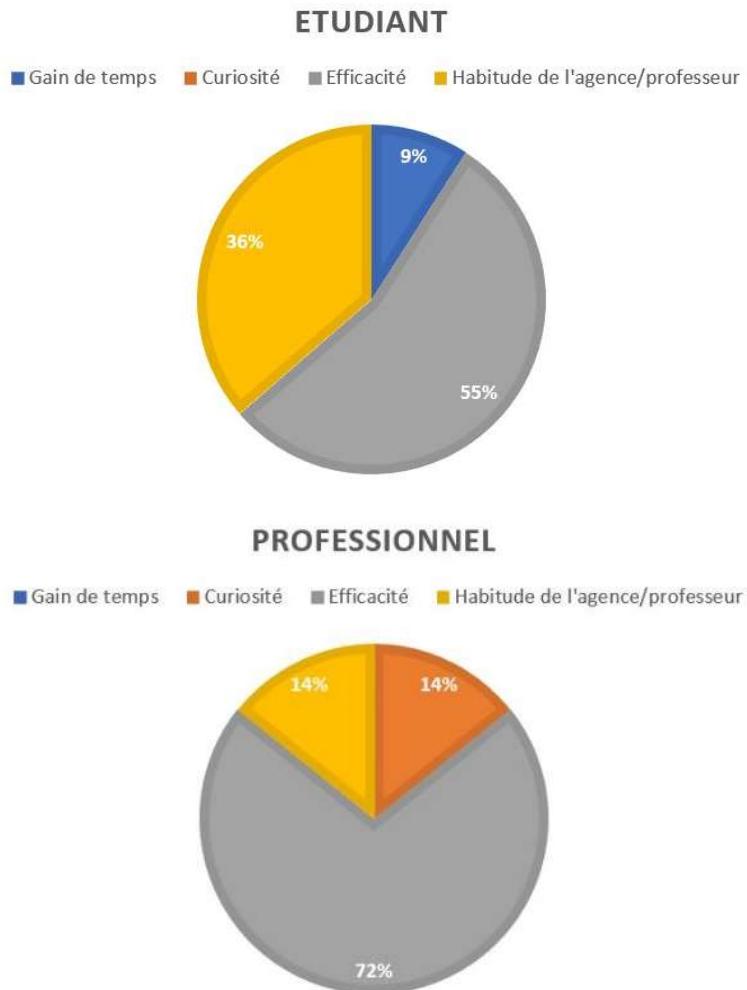
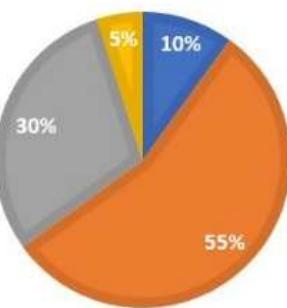


Diagramme 9 : répartition des familles de motivation qui poussent les employeurs/enseignants à se pencher sur le sujet de la programmation de fonction d'optimisation d'un ou plusieurs paramètres de la conception architecturale.

Mais il est intéressant de souligner que nombre de réponses données peuvent être regroupées sous la catégorie « Habitude de l'agence/professeur ». Ce fait est notable, car il implique l'existence d'une population d'enseignants et d'agences pour qui la pratique de la programmation du projet, ne serait-ce qu'en partie, est déjà une réalité.

Les concepteurs qui vont par la suite utiliser ces outils pour optimiser ou plusieurs aspects de leur conception vont choisir d'optimiser des aspects différents de leurs plans. Parmi les deux types de populations, le principal paramètre visé lors d'une optimisation est la forme de l'édifice à 40% chez les professionnels et à 55% chez les étudiants. Après cela, le second paramètre est la structure de l'édifice. Selon les proportions indiquées par les diagrammes suivants :

## ETUDIANT



## PROFESSIONNEL

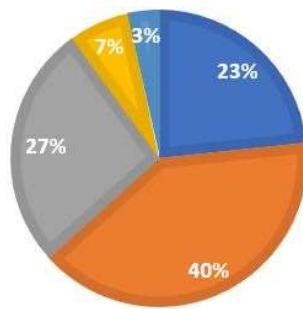


Diagramme 10 : paramètres optimisés lors de la pratique de la programmation de fonction d'optimisation de la conception architecturale.

On peut alors souligner que la motivation première des concepteurs est une optimisation à l'échelle de l'édifice dans un premier temps. Une optimisation du volume plutôt que de l'intérieur du bâtiment donc.

À ce stade on peut résumer les motivations des concepteurs sur pourquoi ils optimisent en utilisant l'outil informatique à la réponse suivante :

Ils recherchent principalement un gain de temps et de précision sur la volumétrie générale de leurs édifices.

Mais pour préciser cette réponse, qui est une première approche, il faut se pencher sur les motivations qui font qu'une partie de la population concernée ne se soit pas

intéressée à une programmation du projet ou d'une partie. Ou encore à l'optimisation d'un ou plusieurs des paramètres de ce projet.

En effet, la part des concepteurs qui utilise systématiquement un outil informatique pour optimiser l'un des paramètres de leur conception architecturale n'est que de 37% pour les professionnels et de 46% chez les étudiants. La proportion de la population sondée qui va jusqu'à de l'optimisation grâce au logiciel pendant la conception est déjà faible et en plus de cela celle qui le fait systématiquement l'est encore plus. Professionnels et étudiants confondus, cela ne correspond qu'à 17% de la population sondée totale.

À la lumière de ces résultats, les motivations des personnes ne souhaitant pas utiliser ces logiciels et programmes sont donc tout aussi informatives et complémentaires.

Dans un premier temps il a été demandé aux sondées qui n'utilisaient pas de logiciel pour programmer, ne serait-ce qu'en partie, leur projet d'architecture, s'ils avaient déjà envisagé de le faire. Leur réponse était la suivante :

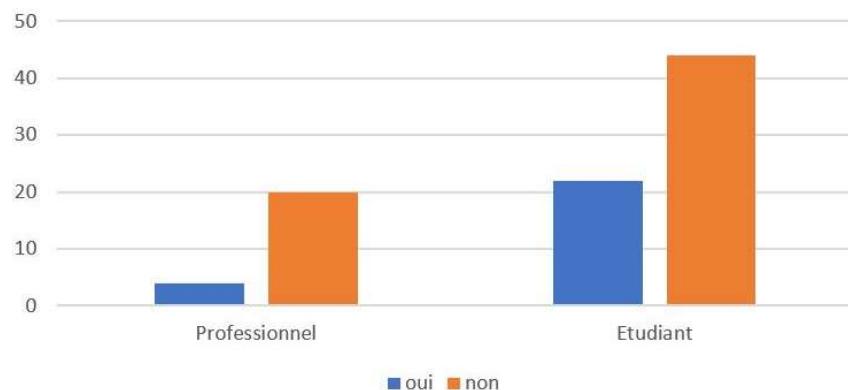
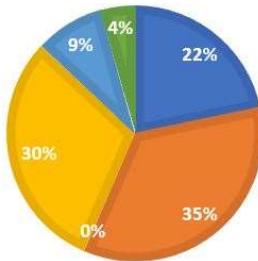


Diagramme 11 : réponses à la question : « avez-vous déjà envisagé d'utiliser un logiciel pour programmer un projet d'architecture ? »

Il a ensuite été demandé à ceux qui avaient, à minima envisagé la chose, les raisons qui avaient fait qu'ils n'avaient pas souhaité franchir le pas. Les raisons évoquées peuvent être regroupées selon les catégories suivantes avec les pourcentages suivants :

## ETUDIANT

■ Problème de temps	■ Problème de formation
■ Problème technique	■ Manque de pertinence ou d'interet
■ Pas autorisé	■ Trop compliqué



## PROFESSIONNEL

■ Problème de temps	■ Problème de formation
■ Problème technique	■ Manque de pertinence ou d'interet
■ Pas autorisé	■ Trop compliqué

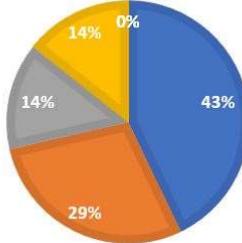


Diagramme 12 : Raisons évoquées pour ne pas avoir franchi le pas de l'utilisation de logiciel pour programmer leur conception architecturale.

Là encore la répartition entre la population étudiante et professionnelle diverge. Si les étudiants estiment qu'ils n'ont pas les formations adéquates où évoquent un manque d'intérêt pour la pratique, majoritairement. Les professionnelles, eux évoquent, principalement un manque de temps suivi par un manque de formation.

C'est-à-dire qu'avant même d'évoquer la question de l'optimisation du projet, les concepteurs sont limités par les formations qu'ils ont reçues qui ne sont pas suffisantes, selon eux, pour pratiquer. Par le temps qui leur est disponible pour réaliser leur projet. Et enfin par l'intérêt, selon eux, de la pratique. Il est bon de noter que les trois paramètres sont implicitement liés. Un individu formé correctement à de grandes possibilités de développer un intérêt pour une pratique qu'il a été encouragé à pratiquer. De même un individu formé passera sûrement moins de temps à coder le projet, ou du moins il aura une estimation plus précise qu'un novice du temps qu'il lui faut pour coder un projet et donc la problématique temporelle serait potentiellement réduite à ce niveau-là.

Intéressons-nous à présent aux individus qui codent en partie leurs projets d'architecture, mais qui n'utilisent pas cette capacité pour optimiser un des paramètres.

Notons, en premier lieu, qu'ils sont peu à avoir envisagé de programmer une fonction d'optimisation seulement 20% chez les professionnels et 27% chez les étudiants. Lorsqu'on s'intéresse aux raisons qui ont fait qu'ils n'ont pas franchi le cap de la programmation d'une fonction d'optimisation, on obtient principalement les mêmes raisons qu'évoquées précédemment, mais dans des proportions différentes :

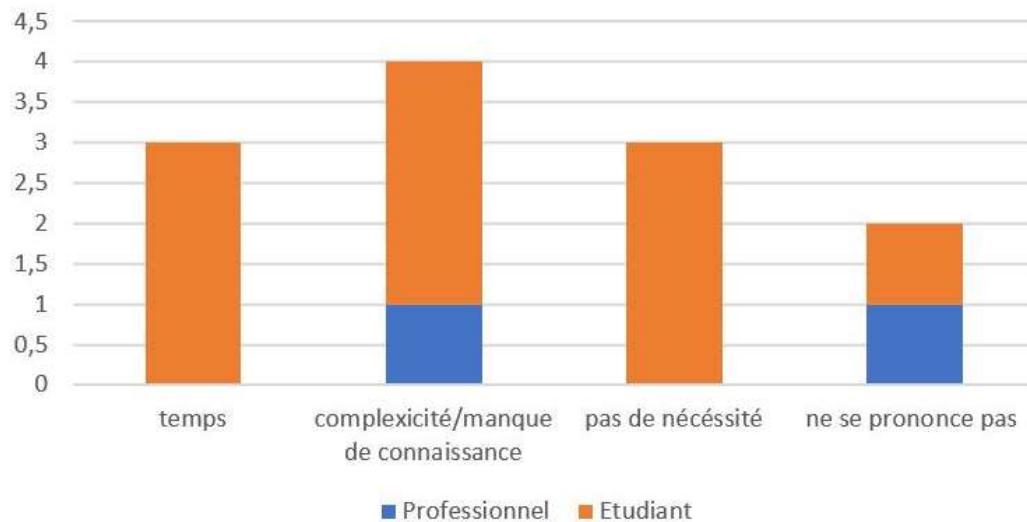


Diagramme 13 : raisons évoquées par les sondés qui ne se sont pas lancé dans la programmation d'une fonction d'optimisation.

Si le manque de formation/connaissances est toujours en tête des raisons, on peut noter que les manques de temps et de nécessité arrivent eux à égalité en seconde position.

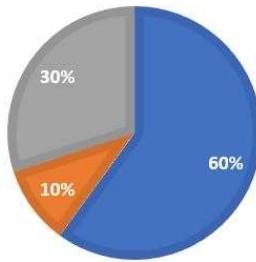
À ce stade de l'étude des résultats, on peut donc souligner que la principale raison de non-utilisation de l'outil informatique semble être, de peu, le manque de connaissance et de formation sur le sujet. Mais suivi de près par un manque d'intérêt de la pratique et également la question du temps disponible par les concepteurs pour mettre en place cette technique.

Pour compléter la conclusion précédente, il est bon de regarder deux autres résultats du sondage effectué.

Le premier est la réponse à la question « quels sont les arguments qui rentrent en compte dans votre choix de l'utilisation ou non ?» pour ceux qui savent programmer une fonction d'optimisation de leur bâtiment. À cette question on a eu plusieurs réponses qui peuvent être regroupées dans les catégories suivantes :

## ETUDIANT

- complexité et intérêt pour le projet
- temps (rapport entre temps investit et temps disponible)
- possibilité de pouvoir l'utiliser (pour étudiant)



## PROFESSIONNEL

- complexité et intérêt pour le projet
- temps (rapport entre temps investit et temps disponible)
- possibilité de pouvoir l'utiliser (pour étudiant)

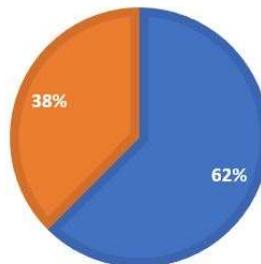


Diagramme 14 : regroupements des réponses à la question « quels sont les arguments qui rentrent en compte dans votre choix de l'utilisation ou non ?»

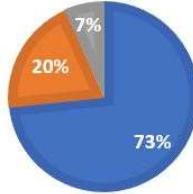
La complexité et l'intérêt de la méthode vis-à-vis du projet est donc un l'argument majeur qui légitimise, ou non, selon les sondés leur utilisation de ces outils. En second plan vient le rapport entre le temps investit et le temps disponible. À noter que pour les étudiants on a ici la problématique de l'autorisation de la pratique pour leur conception architecturale. Le fait que l'on est ces 30% de présent chez les étudiants souligne l'existence de refus académiques de l'ouverture à cette pratique.

Le second résultat auquel il faut prêter attention est celui de la réponse posée à ceux qui utilisent systématiquement des fonctions d'optimisation pour la conception de leur projet. Il leur a été demandé

« Rétrospectivement, qu'est-ce qui vous a été le plus difficile à surmonter dans votre apprentissage pour arriver à ce niveau d'utilisation ?». Les réponses sont regroupées par familles dans les diagrammes suivants.

## ETUDIANT

- la maîtrise des commandes du logiciel et de sa logique
- le temps d'apprentissage
- apprendre seul
- les réticences du milieu professionnel vis-à-vis de l'utilisation de l'outil
- coût de la formation



## PROFESSIONNEL

- la maîtrise des commandes du logiciel et de sa logique
- le temps d'apprentissage
- apprendre seul
- les réticences du milieu professionnel vis-à-vis de l'utilisation de l'outil
- coût de la formation

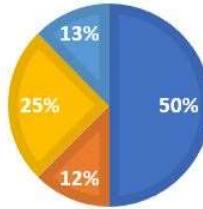


Diagramme 15 : regroupements des réponses à la question « Rétrospectivement, qu'est-ce qui vous a été le plus difficile à surmonter dans votre apprentissage pour arriver à ce niveau d'utilisation ? »

Là encore, l'argument majeur évoqué est un souci de maîtrise du logiciel, et donc implicitement de formation et d'enseignement au logiciel. On peut aussi associer à un problème de formation les 7% d'étudiants qui ont eu pour principal problème de surmonter la difficulté d'apprendre seul et les 13% de professionnels qui furent en difficulté devant le coût des formations. De même le second point qu'il leur a été complexe à maîtriser est le temps de maîtrise et de formation. Enfin, ici on retrouve une limitation de l'ordre de la méthode ou 25% des sondés, à ce niveau-là, ont rencontré des réticences de la part de leur hiérarchie ou de leurs collègues. On retrouve la problématique du refus à l'ouverture à cette pratique.

## b Discussion et conclusion vis-à-vis de l'enquête sur la question du « pourquoi » de la pratique.

Les différents résultats de cette enquête nous permettent de faire la synthèse suivante vis-à-vis de la question du « pourquoi » de la problématique.

Que cela soit pour les professionnel ou pour les étudiants, la principale raison d'optimisation semble être la recherche d'un gain de précision et de temps, notamment au moment de la phase de conception de l'édifice à l'échelle de la volumétrie de ce dernier.

Mais plusieurs paramètres vont peser dans la balance lorsqu'il s'agit d'évaluer l'emploi ou non de ces outils lors de la conception architecturale. Le plus important est la problématique de la formation. En majorité, les concepteurs ne vont pas se tourner vers ces pratiques par un manque de formations et de connaissance, c'est d'ailleurs l'un des freins à l'utilisation évoqué également par les utilisateurs systématiques. De plus les deux autres principaux arguments sont la question du temps à investir dans la méthode vis-à-vis du temps disponible pour la conception, ainsi que l'intérêt de la méthode. En effet, nombre de concepteur se révèle être septique à l'utilisation de ces outils au moment de la conception architecturale. A ce dernier point il est bon d'ajouter les réticences existantes, aussi bien du point de vue des professionnels que institutions (professeurs, écoles) vis-à-vis de cette pratique.

Ainsi ce sondage permet d'apporter des axes de compréhension sur les motivations poussant à l'utilisation, ou non, de ces méthodes/outils.

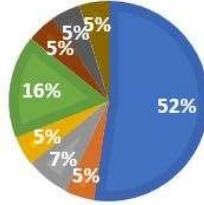
A présent, il est judicieux de se pencher sur les réponses aux questions qui donnent des informations sur le « comment » de la pratique.

## c données en relation avec le « comment » de la pratique

Dans un premier temps, il est bon de souligner qu'une partie des réponses données par cette enquête à la question du comment ont déjà été évoquées. Il a été exposé précédemment la tendance des concepteurs pratiquants, à se tourner vers de l'optimisation de la forme et de la structure principalement, et cela à l'échelle de l'édifice.

L'information, non exploitée jusqu'à présent, sur le comment de l'utilisation de ces outils est celle concernant les logiciels utilisés. Le résultat à cette question nous a donné un panel de réponse assez large qu'il est bon de nuancer dans le sens où certaines réponses données ne correspondent pas forcément au sujet traité. Les logiciels évoqués par certains ne permettent pas une programmation de la conception architecturale et encore moins la mise en place de fonction d'optimisation. Sachant cela, les résultats sont alors les suivants :

## ETUDIANT



## PROFESSIONNEL

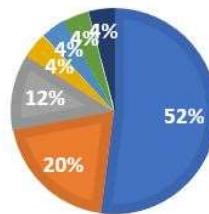


Diagramme 16 : logiciels utilisés pour programmer la conception de projet architecturaux

Ainsi le principal logiciel étudié est le plug-in de Rhinocéros : Grasshopper3D d'après les résultats de l'enquête. Ce résultat restant valable aussi bien chez les professionnels que chez les étudiants. La proportion de l'utilisation de Grasshopper3D est identique chez les étudiants et les professionnels, avec 52% de la population.

Le second résultat pertinent vis-à-vis de la problématique est l'utilisation à 20% chez les professionnels de Dynamo.

Ce résultat vient compléter l'information évoquée précédemment sur le « comment ». Grasshopper3D et Dynamo étant deux logiciels parfaitement adaptés à une utilisation de programmation, en partie, d'un projet ou alors pour programmer des fonctions d'optimisation.

## d discussion et conclusion vis-à-vis de l'enquête sur la question du « comment » de la pratique

La synthèse des informations collectée nous permet de confirmer l'observation que Grasshopper3D est le principal logiciel utilisé en matière d'ADO (Cichocka et al (2017)). Mais la proportion d'utilisation est moindre que les chiffres avancés par l'étude de référence évoquée précédemment. On est ici sur un taux d'utilisation de Grasshopper3D à 52% chez les professionnels, contre 83% dans l'étude internationale de 2017. On peut également tirer des conclusions de l'ensemble des questions sur le fait que les paramètres principalement optimisés sont ceux à l'échelle de la volumétrie générale du bâti.

## 2 Interview d'un professionnel pratiquant la programmation de fonction d'optimisation de la conception par Grasshopper3D

Pour vérifier, ou non, et compléter les informations issues de l'enquête réalisée. Une interview a été réalisée auprès d'un professionnel, pratiquant la programmation de fonction d'optimisation de la conception architecturale. L'interview est celle d'Aymeric de la Bachelerie (AdIB), l'un des membres du projet de recherche MESH au sein de l'Agence Franck Boutté Consultant. Lors de cet entretien semi-directif, il lui a été posé plusieurs questions visant, d'une part à obtenir ses réponses au questionnaire précédent, mais également d'avoir une approche plus large des problématiques avec la vision d'un des membres du projet MESH. La retranscription de l'interview est disponible en annexe, il s'agit de l'annexe n°2.

Comme décrit précédemment l'interview a été menée afin de détailler les conditions de création du projet MESH, mais aussi comment il s'organise et est mis en place.

Tout d'abord, commençons par détailler le sujet. MESH qu'est-ce que c'est ? Pour rappel le projet MESH (pour Morphology – Environment – Sustainability – Human Comfort) est un projet de recherche, au sein de l'agence Franck Boutté Consultants, initié en 2016. Il s'agit d'une optimisation à l'échelle de l'ilot de la forme des bâtiments implantés. Le service propose une optimisation multicritère en fonction des besoins de l'urbaniste en charge du projet. Les critères d'ensoleillement, de structures, de formes et de vis-à-vis sont centraux de cette optimisation. Le sujet des recherches est la mise en place de critères pour évaluer une architecture à l'échelle de l'ilot urbain. Et cela dans le but d'optimiser, par le biais d'algorithmes, ces critères pour améliorer la qualité de l'urbanisme développé par un projet.

Le projet MESH ne concerne pas l'ensemble des projets suivis par l'agence Franck Boutté Consultant, comme le dit AdIB « Lorsqu'il s'agit de faire de l'optimisation environnementale des morphologies urbaines, on va dire, là on fait appel aux outils qu'on a développés dans MESH ».

Le processus d'utilisation du projet est alors le suivant. Lorsqu'un urbaniste va venir demander l'aide et l'expertise de l'agence. L'agence va lui présenter « une forme un peu type » à partir des velléités exprimées initialement par l'urbaniste. L'étape d'après est « une partie de génération, de génération des formes, qui va aller nourrir une série d'outils d'évaluation donc qui va nous donner les indicateurs de performance. Donc ça, c'est la génération. Et entre les deux il y a de l'optimisation.» Et c'est à partir de cela donc que l'agence développe et affine ses critères. « Ce qui permet d'avoir en fait une évaluation multicritère de la forme.»

De plus, ça leur « permet de développer des indicateurs aussi, qui sont spécifiques aux projets. Et qui vont intéresser aussi les urbanistes. Et donc c'est pour ça aussi qu'[ils vont] pouvoir emmener des urbanistes avec [eux]. Parce qu'ils vont être conscients que les indicateurs [...] c'est pour eux, c'est pour leur projet et ça a un sens sur leur territoire ».

La synthèse se fait donc ensuite entre les membres du projet MESH et les urbanistes. Mais pas seulement, il y a aussi un dialogue qui se fait avec la maîtrise d'ouvrage. C'est le fruit d'une réflexion commune qui fait naître plus de nouveaux indicateurs.

La méthode mise en place par MESH va utiliser Grasshopper3D et ses plug-ins. Notamment Galapagos, pour évaluer les projets en monocritères, ainsi qu'Octopus.e pour faire là de l'évaluation multicritères.

Octopus.e ou Octopus Explicite est la désintégration du plug-in octopus, ce qui permet la personnalisation d'algorithmes évolutifs.

Le choix du logiciel vient du fait que les compétences, en interne de l'agence existaient déjà. En effet nombre de ses membres ont des doubles diplômes d'ingénieurs-architectes qui leur ont permis d'avoir les connaissances au préalable. Après pour les besoins du projet, ils ont dû se former, par eux-mêmes et entre eux, principalement. Leur choix c'est également orienté vers grasshopper3D pour la raison évoquée par AdIB ci-après :

« Et ce n'est pas notre cœur de métier d'être développeur de logiciels. Donc heu, en fait on aurait perdu trop de temps, je pense. Ça [Grasshopper3D] reste l'outil le plus flexible en fait, l'interface, rhino/grasshopper »

Même si les membres de l'agence ont dû faire diverses concessions au cours du développement de leur projet. En effet, la puissance de calcul des ordinateurs est suffisante pour de nombreux critères, mais reste tout de même limitée.

« Là on se limite aussi dans certaines évaluations. On simplifie certains calculs pour justement prendre des hypothèses simplificatrices sur certains calculs parce qu'on ne peut pas calculer des choses qui sont trop couteuses ».

« Lorsque on...on veut optimiser des formes. Ba à ce moment-là il faut aller vers heu... les calculs qui sont les moins couteux possible. Et prennent le moins de temps possible pour en évaluer le plus possible. Pour vraiment avoir un gain dans l'optimisation. Ce qui

est difficile c'est de trouver des indicateurs qui sont suffisamment simples pour être calculés rapidement et suffisamment parlants et représentatifs »

Cette interview nous donne une vision de la manière dont réagit des professionnels face à la question de Comment développer un programme d'optimisation de la conception, environnementale principalement ici, d'un projet. L'agence s'est totalement appuyée sur ses ressources internes, c'est-à-dire les capacités et connaissances transverses de ses employés. Ces derniers avaient des connaissances en Grasshopper3D et ses plug-ins nécessaires pour développer des programmes performants vis-à-vis des problèmes soulevés. On note aussi qu'ils se sont orientés vers ce logiciel également, car il le considère comme le plus flexible pour leur besoin. De plus, ici leur but n'est pas de créer une interface au logiciel, dans le but de le commercialiser, c'est pourquoi Grasshopper3D répondait parfaitement à leurs besoins qui étaient, en résumé : facilité d'accès, facilité d'utilisation et performance. En revanche ils ont tout de même fait face à une limitation dans leur recherche du fait de la puissance de calcul encore limitée vis-à-vis du calcul de certains critères. Les calculs aérauliques pouvant aller jusqu'à 14h de calcul pour une situation simple de vent.

En synthèse la solution mise en place ici est la mise en place de la fusion entre une méthode faisant intervenir l'humain pour élaborer les critères et sélectionner les éléments pertinents lors de la génération. Et un processus itératif d'optimisation par le biais de plug-ins (Galapagos et Octopus.e).

Au cours de l'interview, il est également mentionné les motivations qui ont fait que l'agence se soit tournée vers ces pratiques. Les réponses donc de MESH à la question du pourquoi de la problématique.

Premièrement, comme cela est évoqué quelque lignes plus haut l'agence MESH, c'est développé sur les bases de capacités communes aux acteurs de l'agence.

Ces acteurs se sont retrouvés confrontés un jour au constat suivant :

« On n'arrivait pas à suggérer en fait une évolution. C'est-à-dire qu'on arrivait à indiquer les problématiques liées à telle ou telle forme, mais on n'arrivait pas à aller sur-le-champ de l'urbanisme heu. En disant ba il va falloir faire ça pour s'améliorer quoi. Et donc on n'était pas suffisamment force de propositions et c'est donc pour ça qu'on s'est doté d'outil de conception paramétrique, pour faire varier un maximum... pour trouver de nouvelles options et pouvoir optimiser les formes. Donc ça, c'est un peu le pourquoi en saisissant l'opportunité du design paramétrique qui était une expertise qui s'est développé à l'agence après. »

À partir de ce constat l'agence c'est réellement mise en question et en est arrivée à se poser la question de comment faire pour gérer cette situation ?

« Comment rendre plus rapide, plus efficient, on va dire, la recherche de forme dans un processus opérationnel qui est assez exigeant, assez difficile, avec beaucoup d'acteurs. », « pour qu'il n'y ait pas, en quelque sorte, juste : une conception heu... à laquelle va suivre une phase d'évaluation »

Sachant qu'à la base, ce pour quoi ils ont été consultés c'était pour répondre aussi et avant tout à des problématiques de conception environnementale à l'échelle urbaine.

On apprend également au fil de la discussion que l'idée utopique, fondatrice du projet avait pour but la mise en place d'un continuum numérique. Cette idée est l'idée de la création d'une chaîne de conception et de fabrication totalement contrôlée par des algorithmes.

« Le continuum numérique. C'est-à-dire l'idée d'avoir de la ville qui serait presque produite par des algorithmes de conception paramétrique. Aller jusqu'aux formes, des formes urbaines, aux bâtiments, jusqu'aux matériaux, etc., etc. Jusqu'à une impression 3D, sans s'arrêter et en restant toujours sur des outils assez similaires. Et avec le moins de pertes possible d'informations entre les différents intervenants. »

Cette idée utopique s'est vue restreinte, de ce cadre de recherche à la quête plus modeste, mais néanmoins tout aussi complexe suivante : « créer ce qu'on appelle un système d'indicateurs. »

Ce système ayant pour but de gérer, comme sur un tableau de bord les différents paramètres de tout projet permettant d'obtenir les meilleures propositions pour chacun de ces projets.

Dans la prise de décision de se lancer dans cette recherche nous sommes dans un cas bien précis. En effet, l'agence avait du temps à consacrer à la mise en place de nouveaux outils et donc les critères temporels, de savoir si oui ou non c'est un gain de temps pour le projet a été écarté d'entrée de jeu. Le projet MESH à présent est toujours plus chronophage que ne l'est une méthode plus conventionnelle.

« Non, en fait c'est plus chronophage. En fait l'argument gain de temps ne marche pas vraiment. C'est plus chronophage. Il y a un risque lié à l'expérimentation aussi. C'est plus risqué. »

Ce projet de recherche est donc la réponse à la recherche d'un gain d'efficacité. C'est d'ailleurs cet argument qui est vendu aux urbanistes qui consultent l'agence. La garantie (à terme, car le projet n'est pas encore parfaitement opérationnel) d'obtenir un projet, qui dans un concours pourra se présenter comme étant déjà optimisé sur beaucoup plus de points que ses concurrents.

En synthèse globale. L'interview auprès de ce professionnel nous a permis d'avoir une vision complémentaire des informations apportées par l'enquête. En effet ce dernier va se classer dans la catégorie des utilisateurs qui sont à la recherche d'un gain d'efficacité. Et cela par l'utilisation de processus itératifs utilisant des éléments génératifs. Tout en utilisant un logiciel facile d'accès et d'utilisation qu'est grasshopper3D couplé à Rhinocéros3D. On note aussi encore une fois que la mise en place de ce projet n'a été possible que par la connaissance préalable des employés aux techniques, langages informatiques et logiciels nécessaire à développer cette technologie. De plus, ces

connaissances viennent de la formation transversale de ses membres, en architecture et en ingénierie.

### 3 Analyse de la pratique de trois étudiants

Un troisième moyen d'étude est mis en œuvre ici pour collecter des informations complémentaires. Trois étudiants en master 2 de l'ENSAPLV ont développé une pratique de la programmation de fonction dans un but d'optimisation d'un des paramètres de leur conception architecturales. La partie suivante consiste à détailler les objectifs qu'ils se sont fixés, les moyens qu'ils mettent en œuvre et leur méthode pour voir les raisons qu'ils les ont poussés à utiliser ses méthodes et comment ils le font.

Avant tout développement du sujet, il est bon de souligner que les étudiants observés pour l'étude de cette problématique sont trois étudiants ayant suivi une formation d'ingénieur en génie civil en parallèle de leurs études d'architecture. Ainsi, les connaissances utilisées par tout un chacun dans le développement des programmes ne sont pas ordinaires dans l'enseignement français de l'architecture. Il n'en reste pas moins que les techniques et connaissances misent en jeu reste tout de même accessibles pour un étudiant en architecture n'ayant pas suivi de cours de programmation au préalable.

Pour la suite de cette partie, par souci de simplification nous nommeront les étudiants observés par les initiales de leur prénom. On a donc l'étudiant L, l'étudiant N et l'étudiante S.

#### a Une utilisation de Grasshopper3D

L'étudiant L utilise Grasshopper3D pour tenter d'optimiser la disposition de surface vis-à-vis de critères simples à l'échelle du plan d'étage.

L'objectif final serait d'obtenir un programme permettant à l'étudiant d'obtenir une base de plan, respectant les règles et concepts qu'il a définis lors de l'écriture du programme. Pour commencer, il a été décidé de simplifier le problème. L'idée est de commencer avec un problème simple afin de maîtriser la technique avant toute complexification. Le projet architectural est constitué alors d'un plan d'un seul étage de plain-pied composé d'un salon, d'une cuisine et de trois chambres.

Les entrées du programme sont : un terrain, la superficie des pièces.

Les sorties du programme sont : des plans respectant trois concepts simples.

Les concepts simples du programme sont :

\_Cuisine collée au salon

\_Les chambres sont collées ensemble

Les chambres et la cuisine sont le plus loin possible.

Afin de simplifier le problème et également de ne pas trop brider la créativité de l'architecte au niveau de la forme par la suite il a été décidé de définir les surfaces par des formes de disque.

Galapagos étant un module génératif de Grasshopper3D, l'étudiant ayant décomposé son processus en étapes successives, la méthode est alors une méthode de processus itératif basé sur un programme génératif.

Dans un premier temps l'étudiant L, après avoir défini ses entrées du programme va alors regrouper les chambres ensembles et la cuisine et salon ensemble également à l'aide de deux programmes de Galapagos. Puis par une troisième étape, il va agencer les deux blocs (cuisines+salon, chambres) l'un par rapport à l'autre.

Cette procédure peut également être exécuté par Galapagos en une fois, mais alors le nombre de paramètres variants devient limitant.

#### Processus de genèse du programme :

L'idée première de l'étudiant L était d'atteindre l'objectif suivant : automatiser le plus possible les étapes de conception d'un plan architecturé. Les tâches automatisables étant une partie seulement du processus et laissant donc à l'architecte la possibilité d'intervenir à plusieurs moments dans le processus. Contrairement à ce qui peut être pensé, l'idée ici n'était pas d'exclure totalement l'architecte du processus, mais, au contraire de lui laisser plus de liberté dans la conception en s'astreignant des réflexions automatisables. Ainsi les critères architecturaux sont définis dès le codage par l'architecte, et donc son architecture s'exprime, en partie par l'exécution du programme. Il appartient, par la suite, au concepteur de choisir les résultats du l'algorithme le plus adéquat aux projets qu'il réalise.

L'étudiant L s'est penché ici sur l'utilisation d'un algorithme itératif avec des modules génétiques pour deux raisons. La première est que, étant donné son parcours scolaire, il était familiarisé avec le logiciel Rhino et grasshopper3D, qu'il a appris au cours d'un échange universitaire en Norvège. Ainsi par souci de praticité, les éléments génératifs comme Galapagos lui étaient faciles d'accès.

Deuxièmement, l'étudiant voit un processus architectural comme une succession d'étapes arrangeables sous la forme d'un diagramme. Ainsi cette vision de la conception architecturale est tout à fait adaptée à un codage sous la forme d'un processus itératif. Au fil des expérimentations l'objectif final de l'étudiant s'est simplifié en devenant une succession de petit programme étapes permettant d'optimiser différentes étapes de la conception, avec une intervention de l'architecte avant et après chaque étape. Il sera alors bon de questionner la réelle efficacité de la démarche quant à l'existence d'un gain de temps. Les sorties de l'algorithme sont des plans à bases de cercles permettant à l'architecte de travailler avec une certaine liberté à partir de ces bases de plans.

De cette observation on peut tirer la synthèse suivante. Nous sommes ici en face d'un individu qui a développé un programme d'optimisation d'un des paramètres de sa conception pour les raisons suivantes.

Il a eu, en premier lieu, un élan de curiosité qui lui a permis d'envisager la pratique. Ses motivations sont la recherche d'un gain de temps et d'efficacité, mais il est clair qu'au cours de son expérimentation il a réalisé que la recherche d'un gain de temps n'allait pas être satisfaite. Cela à cause du temps que cela lui prend pour développer le programme. Il s'est également orienté vers une utilisation de grasshopper3D du fait de sa formation et des apprentissages précédents. Sa connaissance de la possibilité d'optimiser des phases de conception lui vient de ses formations. Il développe un programme itératif simple, rapide à coder, tout de même, et d'accès aisé.

### b Une utilisation de Java

L'étudiant N a pour objectif de développer un algorithme, à l'aide de Java, pour générer des bases de plans pour suggérer aux architectes des propositions qu'ils n'avaient peut-être pas envisagées.

Pour ce faire l'algorithme mis en jeu est un processus génétique reposant sur des étapes itératives. Les entrées de l'algorithme sont un ensemble de critères voulu par l'utilisateur. Le travail tout entier de l'étudiant N est sous la forme d'un algorithme cellulaire. Ce qui a pour conséquence que les sorties du programme sont des grilles représentant le terrain étudié, avec pour chaque case, une fonction/valeur.

Ces critères sont des critères de regroupement/éloignement ou de position spatiale vis-à-vis de points cardinaux définis. À partir de ces critères, l'algorithme va générer sur une base semi-aléatoire une quantité définie de plans. La base de la création de chaque plan va être aléatoire, mais le processus est, dans un second temps, itératif à l'échelle d'un plan. Par la suite chaque plan généré se voit attribuer une note en fonction de son adéquation vis-à-vis des critères définis par l'utilisateur en début d'utilisation. L'algorithme va alors sélectionner un nombre défini de plans parmi ceux possédant le meilleur score. Cette procédure de sélection peut être vue comme un processus génétique de sélection du plus fort.

À terme ce programme permet de développer des plans potentiellement non envisagés par un architecte confronté au même problème.

Il est important de noter que ce programme se différencie largement de celui de la partie précédente, notamment vis-à-vis du fait qu'il est plus éloigné de la thématique architecturale de prime abord. On ne raisonne pas ici en chambre salon et cuisine avec des thématiques de disposition cuisine chambre, mais bien en surfaces. Les surfaces ne sont pas codées pour être une pièce définie d'un futur immeuble, mais des éléments dépendant des autres. Ainsi, par analogie avec le programme de l'étudiant L, ici on peut se retrouver avec une cuisine proche des chambres, puisque dans la génération aléatoire cette solution existe.

C'est là toute la différence entre l'algorithme de l'étudiant L et celui du N. celui du L est un outil d'aide à la conception en automatisant des tâches de répartition des surfaces sur la parcelle cela en suivant des critères définis par l'architecte en début de programmation. L'étudiant N, lui, fait se générer des suggestions de plans probables, qui ne vont pas forcément respecter les codes architecturaux. Les règles architecturales souhaitées par l'utilisateur vont apparaître dans le processus au moment de la sélection d'un plan et de la mise en forme du bâtiment.

#### Processus de genèse du programme :

Selon ses dires, l'objectif premier de l'étudiant était de créer un algorithme permettant de créer et d'optimiser des plans. Sous le terme d'« optimiser » était présente l'idée sous-jacente de la mise en place par l'algorithme d'une sélection suivant un processus inspiré par celui de la théorie de l'évolution. Le tout pour aller à l'objectif énoncé précédemment qui est la recherche d'une base de plan pour les architectes.

Il y a avait donc la recherche d'un gain d'efficacité dans ce cas-là. Bien sûr la curiosité intellectuelle était présente au cours du développement de ce programme. Le gain de temps n'est pas envisagé ici au moment de la programmation, mais dans l'utilisation future du programme aboutit. L'idée étant de mettre en place un programme permettant à terme à l'architecte de partir d'emblée avec une base de plan cohérent et optimisé vis-à-vis de ses critères.

L'étudiant s'est également orienté, pour cet exercice, vers la forme de l'automate cellulaire, car la forme de grille est un outil aisément pour la confection de plan, par la suite. Cette méthode découle des problématiques de l'étudiant. Il cherchait à avoir la base la plus neutre possible pour développer des bases de plans. Les connaissances mises en jeu ici découlent de l'apprentissage d'ingénierie de l'étudiant. Les connaissances architecturales sont utilisées pour la définition des critères. On a donc un concepteur qui s'est investi dans une formation en autodidacte de nouvelles méthodes, vis-à-vis de son enseignement, pour arriver à ses fins et pouvoir réaliser ses objectifs.

Les détails complémentaires de la pratique de l'étudiant N sont disponibles dans le mémoire de master de Beyler, N. (2018).

#### **c      Une utilisation de Python**

L'étudiante S a une approche différente et utilise des logiciels différents également. L'objectif global de l'étudiante S est la programmation d'un logiciel qui permettrait, à partir de plans qu'on lui présente, de faire extraire les informations du plan (nombre de chambres, dispositions des pièces, etc.) de les faire analyser par le programme pour que ce dernier puisse par la suite proposer des plans avec des caractéristiques similaires. À partir de cet apprentissage, le programme serait apte à proposer des plans en adéquations avec les critères extraits des plans servant à l'apprentissage. On retrouve ici, en partie, l'idée du continuum numérique évoqué précédemment avec l'interview de MESH. Ce projet étant ambitieux, et n'ayant, pour le moment, ni le temps,

ni les compétences pour aller jusqu'à ce niveau, l'étudiante S s'est donc focalisée sur une des étapes du processus global qu'elle a en tête.

Ainsi elle a décidé de programmer un réseau de neurones informatique, auxquelles elle apprend à reconnaître des chambres et à les compter sur des plans simples qu'elle a générés au préalable.

La motivation initiale de cette étudiante repose sur de la curiosité intellectuelle dans un souci de gain d'efficacité de projet futur. Le programme qu'elle développe ici répond à une partie de la programmation du programme globale qui a pour but d'optimiser une partie de la conception d'un projet architectural.

Les connaissances sur le sujet lui sont venues après avoir effectué un stage dans une agence au côté de Philippe Morel. Là elle a pu s'exercer au maniement de Grasshopper3D. C'est à la suite de ce stage que sa curiosité pour la programmation de processus architecturaux s'est développée. Après avoir entendu parler du Deep Learning et des possibilités de cette technologie, elle a fait le rapprochement avec les idées de programme qu'elle avait en tête. Le deep learning (traduction : apprentissage profond) étant l'une des disciplines de la machine learning, qui correspond à une forme d'utilisation de l'intelligence artificielle. Emmanuel Mogenet, directeur de Google Research Europe décrit le deep learning comme « l'apprentissage par l'exemple » de quoi permettre aux machines de reproduire les comportements cognitifs que l'être humain lui-même ne sait pas expliquer. (Propos recueillis lors du deuxième sommet des start-ups organisés par science et avenir et Challenges).

Pour ce faire elle a choisi d'utiliser le logiciel de programmation Python et cela pour deux raisons principales.

La première est qu'elle l'avait déjà utilisé en agence et en classe préparatoire, elle avait donc des connaissances préalables du programme nécessaire et avec lesquelles elle se sentait assez en confiance pour les utiliser.

La seconde est qu'il s'agit d'un langage tout à fait adapté pour faire du deep learning. De plus la communauté d'utilisateur de Python est très large et permet d'avoir facilement de nombreuses réponses à ses questions en cas de problème rencontré. Ce sont ces raisons qui l'ont poussée à utiliser ce logiciel.

Pour la mise en place du réseau de neurones, la majeure partie de ses connaissances est issue d'un manuel qui apprend de manière pratique à mettre en place un réseau de neurones. Mais elle souligne que sans sa formation d'ingénieur et ses connaissances de première et deuxième année de Classe Préparatoire aux Grandes Écoles (CPGE) elle n'aurait pas été totalement apte à comprendre de manière efficace les informations contenues dans ce manuel. De même, le réseau de neurones développé est largement optimisable, selon ses propres dires, car l'ensemble des critères d'apprentissage du réseau nécessite un enseignement poussé sur le sujet pour qu'elle puisse pleinement utiliser son outil.

Le cas de l'étudiante S nous apprend plusieurs choses. La première est que l'on est encore dans le cas ici d'un concepteur qui s'oriente vers la programmation pour la conception de plan pour des motivations première de curiosité intellectuelle et de

recherche d'un gain d'efficacité du projet. Le Gain de temps n'est pensé que dans l'utilisation future du programme, pas dans son développement. De plus ici les compétences exposées prouvent qu'un enseignement a minima scientifique en plus des compétences architecturales est nécessaire pour développer ces compétences-là. On est dans un cas, où l'individu s'est formé en autodidacte, mais cette formation en autodidacte n'a pu être possible seulement parce qu'elle avait reçu une formation d'étude supérieure en mathématiques et en informatiques (niveau Licence) en plus de ses connaissances en architecture.

Les détails complémentaires de la pratique de l'étudiant N sont disponibles dans le mémoire de master de Oros, S. (2018).

## 4 Discussion et conclusion

### a Une analyse des données factuelle

Les informations collectées au cours de cette partie nous permettent de mettre plusieurs éléments en avant de manière factuelle.

L'enquête nous a exposé que les concepteurs qui s'essaient à la pratique de la programmation de fonction d'optimisation de la conception architecturale sont focalisés sur des optimisations prédominantes de :

- \_la formes du projet,
- \_la disposition des espaces,
- \_la structure du projet.

Leurs motivations principales pour se lancer dans ces programmations peuvent être regroupées en trois catégories. La recherche d'optimisation de leur temps de conception, de l'efficacité de leur projet ou la volonté de satisfaire de la curiosité intellectuelle :

- \_gain de temps
- \_gain d'efficacité
- \_curiosité

L'enquête nous souligne aussi que le logiciel principalement utilisé est Grasshopper3D combiné à Rhinoceros3D.

Les raisons principales qui freinent la programmation de fonction d'optimisation de la conception architecturale sont :

- \_formation face à la complexité des logiciels
- \_temps disponible
- \_Réticences académiques ou hiérarchiques vis-à-vis de l'utilisation de ces solutions.

L'entretien auprès de l'agence MESH, nous a exposé les raisons qui ont poussé à cette pratique professionnelle :

\_la volonté de développer une compétence (assimilable à de la curiosité intellectuelle)  
\_chercher à développer un outil qui leur permet de répondre plus efficacement à leurs problématiques.

Ici le logiciel utilisé est Grasshopper3D, pour sa flexibilité, sa rapidité d'emploi et la communauté disponible en ligne pour se former à l'utilisation de ce logiciel.

Les principaux paramètres que cherche à optimiser MESH étant des paramètres  
\_de formes de l'édifice

Ce qui a freiné MESH n'est pas totalement affirmé dans l'interview. Mais on sait que les membres du projet ont dû se former en plus de ses compétences initiales. Et que leurs capacités de calcul sont tout de même limitées pour certaines recherches d'optimisation.

L'étudiant L a développé cette capacité principalement pour des raisons de :

\_curiosité intellectuelle  
\_recherche d'un gain de temps  
\_recherche d'un gain d'efficacité

Il utilise Grasshopper3D, pour sa facilité d'emploi et la communauté disponible en ligne pour se former à l'utilisation du logiciel.

L'étudiant L cherche principalement à optimiser le paramètre :

\_Disposition des espaces.

L'étudiant L, a principalement été freiné par le temps de mise en place de son algorithme.

L'étudiant N a développé cette capacité principalement pour des raisons de :

\_curiosité intellectuelle  
\_recherche d'un gain d'efficacité

Il utilise java, car il avait déjà eu une formation adéquate sur le logiciel au préalable.

L'étudiant N cherche principalement à optimiser le paramètre :

\_Disposition des espaces.

L'étudiant N a majoritairement rencontré des difficultés au niveau du langage utilisé, il a régulièrement été confronté à de nombreux bugs de codages.

L'étudiant S a développé cette capacité principalement pour des raisons de :

\_curiosité intellectuelle  
\_recherche d'un gain d'efficacité

Elle utilise python car elle a eu des formations adéquates et profite de la communauté disponible en ligne pour se former à l'utilisation du logiciel. C'était également le logiciel le plus adéquat à faire du deep learning, selon elle dans sa situation.

L'étudiant S cherche principalement à optimiser le paramètre :

\_Disposition des espaces.

L'étudiante S a dû faire face à son manque de connaissance dans le codage d'un réseau de neurone pour mettre en place le programme qu'elle a obtenu.

L'ensemble de la collecte d'information permet donc d'ébaucher un listing des motivations des concepteurs à se pencher sur le sujet de la programmation de fonction d'optimisation de la conception architecturale. Mais également une liste des paramètres principalement optimisés et des méthodes employées.

On a donc les listes suivantes :

Motivations :

\_recherche d'un gain de temps  
\_recherche d'un gain d'efficacité du projet  
\_curiosité intellectuelle

Paramètres :

\_forme du projet  
\_structure du projet  
\_disposition des espaces du projet

Méthode principale : utilisation de Grasshopper3D en partenariat avec Rhinoceros3D.

Les freins évoqués sont principalement le manque de formation, le temps de programmation, mais également le manque d'intérêt pour la pratique.

## b une analyse des données selon un modèle comportementaliste

Pour tenter d'expliquer plus en profondeur les comportements des utilisateurs vis-à-vis de l'adoption ou non de la technologie considérée, intéressons-nous à un modèle comportementaliste.

Un modèle dit comportementaliste va définir les facteurs influençant l'adoption d'une technologie. Les plus connus de ces modèles sont la Technology Acceptance Model, Unified Theory of Acceptance and Use of Technology, technology task Fit (Tétard et Collan, 2009). Nous allons exploiter ces modèles, ici, pour analyser les réponses des

populations sondées vis-à-vis de leur motivation sur l'adoption de la programmation de fonction d'optimisation de la conception architecturale.

Nous nous intéressons particulièrement ici par ce que Têtard et Collan ont défini en 2009 comme la *Lazy User theory*. Il s'agit de la manière dont un utilisateur va choisir de manière rationnelle une solution parmi d'autres pour répondre à ses besoins. Cette théorie dit que l'utilisateur va sélectionner la solution qui lui semble la plus utile, et qui lui demande le moins d'effort à l'utilisation, d'où le nom : la *théorie de l'utilisateur fainéant*.

De par cette théorie, faire un changement de sa pratique est perçu comme un choix légitime que si la nécessité de changement est évoquée.

Le processus se décompose en les phases suivantes : connaissance, réflexion, décision d'adoption, implémentation, confirmation

Au cours de la phase le décideur va évaluer :

- \_l'effort à fournir (temps, énergie argent) pour implémenter une innovation
- \_l'utilité de l'innovation au vu de son activité et de ses besoins.

L'option avec le minimum d'effort à l'implémentation et l'utilité maximale sera favorisée. Mais il est à noter que cela reste une théorie. L'utilisateur ne va évaluer ces deux points qu'à priori et en réalité sa décision dépend également des facteurs suivants :

- A. Le décideur : expérience, âge, personnalité, etc.
- B. Les solutions elles-mêmes : technologies et processus
- C. Le contexte :

Dans le cas d'un professionnel, le contexte de la structure dans lequel il travaille. Son contexte interne (C2) : avec la taille de la structure, types de projets réalisés, stratégie de la structure, etc. ce qui définit les besoins de cette, dites, structure. Le contexte externe (C1) avec l'état du secteur, la concurrence, les réglementations, etc.

Dans le cas d'un étudiant. Le contexte interne (C2) est réduit à l'orientation qu'il définit pour son projet et les choix qu'il fait avec lui-même. Le contexte externe (C1) est les directives de son enseignement et le cadre de l'exercice de projet qu'il réalise.

- D. La communication liée à la solution : documentation, formation, information sur la technique et diffusion des résultats sur la technique.

Une adaptation du schéma de processus lié à l'adoption du BIM d'après (Roger, 2003 ; Hochscheid et al., 2016) à notre problématique donne le schéma suivant :

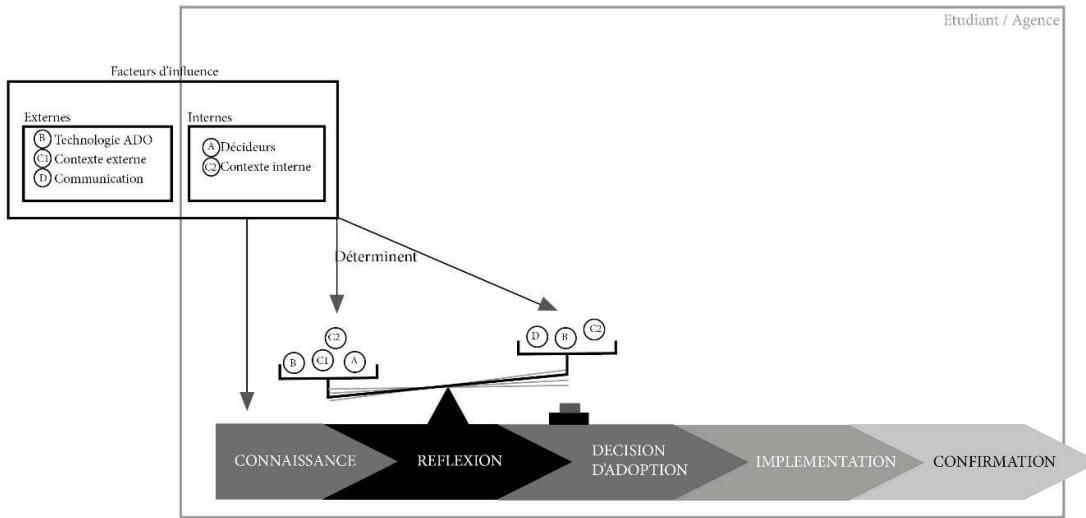


Schéma 1 : Processus de décision lié à l'adoption de l'ADO pour un projet d'après (Rogers, 2003 ; Hochscheid et al.)

#### Analyse selon un modèle comportementaliste.

Observons les réponses à l'analyse et les comportements des étudiants observés selon le modèle de la Lazy User Theory.

#### L'interview MESH :

##### Facteurs internes :

- Décideurs : Il s'agit d'architectes expérimentés qui ont pour moyenne d'âge 35 ans, avec beaucoup de profils Ingénieur-Architecte.
- Solutions : la solution envisagée ici est l'utilisation de Grasshopper3D pour faire de l'optimisation multicritère.
- Le contexte :

Le contexte interne (C2) : on est dans le cas d'un petit projet de recherche au sein d'une agence d'une trentaine de consultants, dans le cas ici d'un projet de recherche, avec pour objectif le développement d'un outil et non pas le gain de temps.

Le contexte externe (C1) : on est dans un milieu concurrentiel qui est celui de la réponse à appel d'offres pour un concours.

- Communication : elle se base sur les formations et expériences des décideurs, ainsi que sur les publications sur le sujet.

Le but de MESH étant le développement d'un outil avec une contrainte de temps évidemment, mais de manière réduite, car ils savent qu'il s'agit d'une démarche chronophage, plus chronophage qu'un développement classique.

Dans les efforts perçus on peut placer : D car le développement de l'outil est à faire, C2, car il s'agit d'un projet coûteux pour l'agence en ressources humaines, financières et temporelles. A car il y a un coût humain d'engager des décideurs sur le projet

Dans les utilités perçues on peut placer : A car on développe des compétences chez le concepteur, C1, car on développe une compétence que la concurrence n'a pas, D car on enrichit la communication sur l'objet se plaçant donc dans les références de la technique, B, car on développe la technique.

L'analyse des travaux d'étudiants :

- A. Décideurs : Étudiants en architecture de 24 ans de moyenne d'âge, avec un profil d'Ingénieur-Architecte.
- B. Solutions : Les solutions envisagées ici divergent pour les 3 étudiants. Utilisation de Grasshopper3D pour l'étudiant L, utilisation de java pour l'étudiant N, utilisation de python appliquée au deep learning étudiante S.
- C. Le contexte :

Le contexte interne (C2) : pour l'étudiant L il s'agit de développer une technologie pour ses propres projets sans contrainte interne supplémentaire. Pour les étudiants N et S, il s'agissait d'explorer et développer un outil dans le cadre de leur mémoire de master d'architecture.

Le contexte externe (C1) : les étudiants ne sont pas soumis à une concurrence dans ce cas-là. Les étudiants N et S sont tout de même astreints à développer leur technologie dans un laps de temps déterminé correspondant au temps disponible pour travailler sur leur mémoire.

- D. Communication : Les étudiants ont tous les trois choisis des logiciels pour lesquels la documentation est riche pour ce qui est du développement de programme.

Dans les efforts perçus on peut placer : D car bien qu'il y ait une documentation riche sur les sujets il faut tout de même compter un temps de recherche conséquent, B car cela suppose de se former par soit même à une nouvelle technologie totalement par soi-même, C1 car le temps nécessaire pour développer la technologie et la mettre en place peut être plus long que le temps disponible.

Dans les utilités perçues on peut placer : A car par leur position d'étudiant développer ces connaissances est un plus pour eux, C2 car il développe et satisfait une curiosité qu'ils avaient à propos d'une technologie qu'ils ne pratiquaient pas, D il développe un outil et des connaissances qu'ils peuvent véhiculer autour d'eux au sein des cercles des concepteurs.

Conclusion du modèle comportementaliste.

On observe que les motivations chez les utilités chez les étudiants sont beaucoup plus centrées sur leur personne en tant qu'individu qui cherche à satisfaire une curiosité et à développer une nouvelle technique. Alors que pour l'entreprise les

utilités sont davantage liées au développement de sa compétitivité et ses possibilités de répondre à des appels d'offres dont elle ne pouvait pas maîtriser le programme auparavant. Ainsi, la différence majeure entre les utilités de l'entreprise et celles des étudiants est que celles de l'entreprise découlent de la réponse à un besoin externe de l'entreprise, et l'entreprise développe la capacité en interne pour pouvoir répondre à ses besoins externes. Alors que pour les étudiants le besoin est interne, celui de satisfaire une curiosité et de développé une compétence.

Vis-à-vis des efforts, l'entreprise et les étudiants font face au même socle d'effort à propos des connaissances et des publications sur les outils qu'ils mettent en place. En revanche l'entreprise est astreinte à faire ses choix aussi en fonction d'un contexte économique et aussi la situation vis-à-vis de la concurrence. Il semble donc que l'entreprise doit faire face également à l'inertie du fait qu'il s'agisse d'une structure avec des problématiques financière et humaine supplémentaire.

À partir des observations et de leur observation, nous pouvons à présent ébaucher une réponse à la problématique et affirmer ou infirmer les hypothèses formulées auparavant.

## VI Vérification des hypothèses, et conclusion

### 1 Vérification des hypothèses

La collecte d'informations effectuées au cours de la partie précédente nous autorise à présent à revenir sur les hypothèses formulées précédemment, afin de les évaluer.

Concentrons-nous, dans un premier temps sur les hypothèses du « Pourquoi » :

Nous avons vu que les motivations des concepteurs à programmer des fonctions d'optimisation de la conception architecturale résultait de trois motivations principales : recherche d'un gain de temps, recherche d'un gain d'efficacité et curiosité intellectuelle. Ainsi rien ne nous a apporté des confirmations sur le fait qu'il s'agissait pour le moment d'une nécessité pour les concepteurs de programmer des fonctions d'optimisation. Seulement l'interview de MESH nous a parlé d'un besoin explicite de cet outil pour pouvoir répondre à la demande de leur client. On peut tout de même souligner que les concepteurs cherchant un gain d'efficacité ont nécessairement une utilisation de l'outil découlant d'une nécessité, mais rien ne montre ici qu'il avait besoin de ces outils-là en particulier.

En revanche on a pu constater que la curiosité intellectuelle est un des arguments de motivation qui est bien présent dans les résultats. On le retrouve aussi bien chez les étudiants que chez les professionnels.

La recherche d'un gain de temps est, elle, nuancée au final. C'est-à-dire que même si elle est évoquée par nombre de concepteurs au cours de l'étude. On peut remarquer qu'en définitive elle n'est pas tant prouvée que ça. Car comme le souligne l'interview, le temps de développement du programme impacte largement le temps global du projet. Ce n'est pas un argument qui fait l'unanimité sur les motivations de ceux qui emploient ces outils.

Intéressons-nous, à présent, aux hypothèses du « Comment » :

L'enquête menée au cours de cette collecte d'informations nous a confirmé que Grasshopper3D est le logiciel le plus utilisé lorsque l'on parle d'ADO, confirmant l'étude de Cichocka et al. (2017). Mais il est bon de souligner que le pourcentage d'utilisation de la population sondée est inférieur à celui avancé par l'étude de Cichocka et al. Ils avançaient une utilisation à 83% de Grasshopper3D, contre 52% pour les professionnels et les étudiants dans notre cas. Comme le montrent les analyses de pratique et il y a bien d'autres logiciels utilisés. Et pas, tous, forcément, aussi facile d'accès que Grasshopper3D.

De plus les optimisations pratiquées bien qu'elle concerne effectivement, pour une large partie, la forme des édifices, cela n'est pas non plus la majorité des optimisations recherchées. Elles sont réparties à part équivalente entre la forme de l'édifice, l'ensoleillement et la structure du bâtiment. Ainsi les utilisations de ces logiciels sont plus ambitieuses et développées que ce qu'avaient les hypothèses formulées.

On peut enfin souligner que la majorité des connaissances acquises par les concepteurs praticien de la technique décrite, ont reçu obtenu ces informations en étant, pour la plupart, autodidacte. Bien que le socle de connaissance qui leur était nécessaire découle de formations. À ce jour, ils semblent donc plus évidents de se tourner vers des moyens autres que des formations pour développer les capacités nécessaires satisfaire leurs ambitions à ce niveau-là.

## 2 Conclusion et discussion

Nous avons pu observer et interroger une population de concepteur sur leur motivation à programmer des fonctions de d'optimisation et leur manière de faire. Nous avons relevé que la majorité d'entre eux sont à la recherche d'un gain de temps ou d'efficacité ou cherchent à satisfaire leur curiosité intellectuelle vis-à-vis d'une pratique émergente. Ils s'intéressent majoritairement à des optimisations de l'ensoleillement ou de la forme ou de la structure de leur projet. Pour se faire, ils utilisent principalement le logiciel Grasshopper3D couplé avec Rhinoceros3D, Dynamo arrivant en second. Coupler ces informations avec les conclusions de l'études de Cichocka et al. (2017) nous montre la présence d'un besoin pour des concepteurs de se tourner vers de l'optimisation assistée par ordinateur au cours de leurs conceptions architecturales. Cela découle d'une longue mise en place de théories, détaillée dans la première partie, mais également du fait que de nos jours la technologie est enfin accessible pour les particuliers. Cette étude vient donc compléter les informations sur l'ADO, ces techniques qui nous viennent de théories anciennes, mais à la pratique que récente. Du fait que nous avons vu qu'il existe une demande pour cette pratique, la question de se son développement et de l'accompagnement de ce développement se révèle alors pertinente.

Ainsi, après s'être attaché à tenter de répondre à la problématique de ce sujet, il est bon de remarquer un point soulevé au cours de l'étude du problème. Nombre de concepteurs ont souligné un manque de formation face aux outils qu'ils souhaitent utiliser. De plus, nous pouvons souligner de nouveau la conclusion de l'étude de l'enseignement de grasshopper3D dans les écoles françaises : 60% des écoles françaises n'offrent pas explicitement dans leur programme d'études la possibilité de se former à Grasshopper3D. Or nous avons vu que grasshopper3D est leader dans les logiciels utilisés pour faire de l'ADO. On peut alors émettre l'hypothèse qu'une augmentation de la formation à la programmation et la programmation de fonction d'optimisation pourraient permettre un meilleur développement de ces techniques, car plus de personnes seront conscientes des possibilités que nous offre la technologie actuelle. Permettant alors un développement plus poussé de cette pratique de l'architecture et de

ses bénéfices pour la conception architecturale. Cette hypothèse vient faire écho aux conclusions de Stals et al. (2018) concernant l'usage de la modélisation paramétrique en architecture. Où, des architectes initiés aux outils ont, en fin d'initiation, fait des liens entre les possibilités créatives et potentialités techniques et sont majoritairement favorables à l'idée de s'essayer à l'usage de ces logiciels, en particulier par l'intermédiaire d'un stagiaire « qui en aurait la maîtrise ». Sachant que la modélisation paramétrique est à la base de la pratique de la programmation de fonction d'optimisation de la conception architecturale, on peut donc suggérer les mêmes hypothèses pour l'ADO. La diffusion de la pratique de l'ADO peut se faire à l'instar de la diffusion de la CAO aux débuts de l'informatisation des agences. Le sociologue Guy Tapie (2000) avait souligné que les jeunes architectes étaient de véritables moteurs de la diffusion de la CAO aux débuts de l'informatisation des agences. Cela pourrait aujourd'hui être également le cas avec la diffusion de l'ADO, à condition que les jeunes architectes aient reçu les formations nécessaires. Cela n'est que spéculatif, il y a la nécessité de mettre en place une étude sérieuse de la question de l'enseignement de la programmation informatique, pour l'architecture, pour qu'une conclusion tangible puisse être exprimée. La pertinence de l'enseignement de l'usage de ces outils reste donc un aspect ouvert à débat.

## Mea Culpa

Vous trouverez ici l'ensemble des points nécessitant un développement supplémentaire, ainsi que les remarques issues d'un des développements qui nécessite précision. C'est aussi le lieu de l'expression des regrets de l'auteur sur certaines parties du texte.

- Partie II.2 il faudrait une vraie étude pour recenser et pour confirmer les données sur l'évolution ou non de la population d'entreprise proposant des produits ou fournissant des produits/services permettant d'effectuer de l'ADO. C'est la condition sine qua non pour valider cette partie.
- L'étude de l'enseignement de Grasshopper3D nécessite d'être refaite de manière plus poussée, avec des entretiens de membre des conseils d'enseignement/directeurs des études des différentes écoles. Le but étant de mettre en avant les raisons de l'enseignement ou non, évoqué par les institutions elles-mêmes, de Grasshopper3D. Cela peut être également étendu à l'utilisation des outils de modélisation paramétrique et d'ADO.
- Il aurait été nécessaire d'effectuer des entretiens supplémentaires avec plusieurs professionnels de l'utilisation de l'ADO afin de pouvoir avoir une plus grande quantité d'informations sur la pratique et son utilisation au sein de la profession. Car nous ne disposons ici que d'un seul entretien effectué auprès d'un professionnel. Ce qui n'est pas suffisant pour vraiment ébaucher des conclusions sur la pratique.
- L'étudiant L de l'étude de la pratique chez les étudiants correspond à la pratique de l'auteur de ce mémoire. Bien que l'étude ne porte que sur la pratique de manière factuelle, il est tout de même contestable d'utiliser les réponses évoquées à la question du Pourquoi. En effet l'auteur peut être influencé dans ses réponses par les recherches déjà effectuées et les résultats déjà développés au moment de la rédaction.
- Pour mieux analyser les résultats des expériences et les motivations des étudiants et des professionnels dans leur choix de se tourner vers la programmation de fonctions d'optimisation lors de leur conception architecturale, il aurait été nécessaire d'utiliser plusieurs moyens d'analyse. Dans ce travail seuls deux moyens d'analyse ont été mis en place. Un, dit factuel, qui ne correspondait qu'à une étude factuelle des données récoltées. Une autre correspondant à utiliser une méthode comportementaliste pour identifier les motivation et frein à l'utilisation des méthodes par les étudiants. Une étude plus complète aurait dû comporter en premier lieu une analyse et une étude des différentes méthodes utilisable pour ce type d'enquête ; puis une sélection des méthodes les plus appropriées. Enfin une analyse des résultats par le biais de chaque méthode. Et une comparaison de ces résultats. Cette procédure nous aurait permis d'exploiter de manière plus rigoureuse les résultats de l'enquête. Il aurait également fallu faire de même avec l'interview et les observations de pratiques.

## Bibliographie

- Armour, G.C., & Buffa, E.S. (1963). A heuristic algorithm and simulation approach to the relative location of facilities. *Management Science*, Vol. 9, n°2, janvier 1963. Pp. 294-309.
- Bernholtz, A., & Fosburg, S., (1970). A generalized program for transforming relationship values into plan layouts. *International symposium Computer, Graphics 70*; University Brunel, Uxbridge, Middlesex, (Grande-Bretagne). Avril 1970.
- Beyler, N (2018). Utiliser et transformer des critères en esquisses de plan. *Mémoire de master, ENSA Paris La Villette*.
- Boudier, J-P., Charalambides, S., Fourcade A-M., & Lafue, G. (1973). Analyse de Programmes d'Allocation Spatiale. *Séminaire sur l'allocation spatiale à l'Institut de l'Environnement à Paris 1973*. Centre de Mathématiques, Méthodologie, Informatique. Institut de l'environnement, Paris. Avril 1973.
- Cichocka, J. M., Browne, W. N., & Rodriguez, E. (2017). Optimization in the architectural practice – An International Survey. *Protocols, Flows and Glitches, Proceedings of the 22<sup>nd</sup> International Conference of the Association for the Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA) 2017*, 387-397.
- De Boissieu, A. (2013). Modélisation paramétrique en conception architecturale : Caractérisation des opérations cognitives de conception pour une pédagogie. *PhD Thesis, ENSA Paris La Villette*.
- DesignToProduction (2003). Groningen Stadsbalkon: the evolution of the velo-station. Disponible sur: <https://www.designtoproduction.com/en/>
- Eastman, C.M., (1972). Automated Space Planning and a theory of design: a review. *Proceedings of the international computers symposium, European Chapter of ACM (Association for Computing Machinery), Venise, avril 1972*. Pp.314-323.
- Flager, F., Haymaker, J. (2009). A Comparison of Multidisciplinary Design, Analysis and Optimisation Processes in the Building Construction and Aerospace. *Stanford University, Stanford, CA*.
- Harness, C. (2018). Testfit : Generative design. Disponible sur : <https://blog.testfit.io/testfit-generative-design>
- Haugen, E.P. Architecte pour Spacemaker AI. Conférence de présentation de Spacemaker AI le 6 avril 2018 à NTNU, Trondheim.
- Hochscheid, E., & Halin, G. (2018). L'adoption du BIM dans les agences d'architecture en France. *SHS Web of Conferences*.
- Migayrou, F., Lenglois, C., Cyriaque, E., Andreatta, M., & Zeitoun, O. (2018). *Coder Le Monde : mutations créations*. Edition HYX et éditions du centre pompidou.
- Oros, S. (2018). L'apprentissage machine au service de la conception architecturale ? Une application : extraire des informations à partir de plans. *Mémoire de master, ENSA Paris La Villette*.
- Sanguinetti, P., & Abdelmohsen, S. (2007). On the Strategic Integration of Sketching And Parametric Modeling in Conceptual Design. *ACADIA*, 242-249.

- Schaffranek, R. (2012). Just Good Enough, is Good Enough for Architecture: Optimizing – a Task for the Architect. In: *Productive Limits: Architects Gone Exploratory*. Sonderzahl, Vienna, AUT pp89-99.
- Shelden, D. R. (2002). Digital Surface Representation and the Constructability of Gehry's Architecture. Massachusetts Institute of Technology.
- Stals, A., Elsen, C., & Jancart, S. (2018). L'immersion pour l'appréhension des outils de modélisation paramétrique en conception architecturale. *SHS Web of Conferences*.
- Tapie, G. (2000). Les architectes : mutations d'une profession. Paris, France : Harmattan. *Logiques sociales*. ISBN 978-2-7384-8803-9. NA1995. T36 2000.
- Tétard, F. et Collan, M. (2009). Lazy user theory: A Dynamic model to understand user selection of products and services. In: *System Sciences, 2009. HICSS'09. 42<sup>nd</sup> Hawaii International Conference on*. IEEE, pp.1-9.
- Willoughby, T. (1970). A generative approach. OAP (Sept. 1970). *Séminaire sur l'allocation spatiale à l'Institut de l'Environnement à Paris 1973*.
- Willoughby, T. (1970). A rational approach to design. OAP (Sept. 1970). *Séminaire sur l'allocation spatiale à l'Institut de l'Environnement à Paris 1973*.
- Willoughby, T., Paterson, W., & Drummond, G., (1969). Computer-Aided Architectural Planning. *Operational research quarterly*. Vol. 21, n°1, 1969, pp91-98. University of Strathclyde.
- Wortmann, T. (2018). Efficient, Visual, and Interactive Architectural Design Optimization with Madel-based Methods. *Phd Thesis Singapore University of Technology and Design*.
- Yu, R., Gero, J., & Gu, N. (2015). Architects' Cognitive Behaviour in Parametric Design. *International Journal of Architectural Computing*, 13I(1), 83-101.

## Annexes

### Annexe 1 : Descriptif du sondage réalisé sur l'utilisation de fonction d'optimisation de la conception architecturale dans la conception architecturale

Un total de 150 professionnels du monde la conception et étudiants en architecture ont participé à cette enquête. Cette enquête était anonyme. Ni les noms des participants ou quel qu'autre information qui permettrait leur identification n'est inclus dans cette enquête. Les résultats de l'enquête n'ont été lus que par l'auteur. L'étude a été réalisée en ligne par le biais d'un lien Google Forms. Le lien a été publié sur le groupe Primo Archi, du réseau social Facebook, possédant 25 083 membres travaillant ou étudiants en architecture. Il a également été publié sur le groupe de la promotion ayant intégré l'ENSAPLV en 214, comprenant 716 membres. Le lien de l'enquête n'incluait aucune obligation à participer à l'enquête et la participation était action volontaire. Les participants pouvaient également quitter l'enquête à tout moment. Seuls les résultats des questionnaires soumis ont été pris en compte. Aucun retour n'a été fait aux participants.

#### Enquête : questions et résultats

Cette enquête était composée d'un maximum de 15 questions : question oui/non, questions à choix multiple et questions ouvertes. L'organigramme des questions répondait à l'organigramme ci-dessous.

## Fin du questionnaire

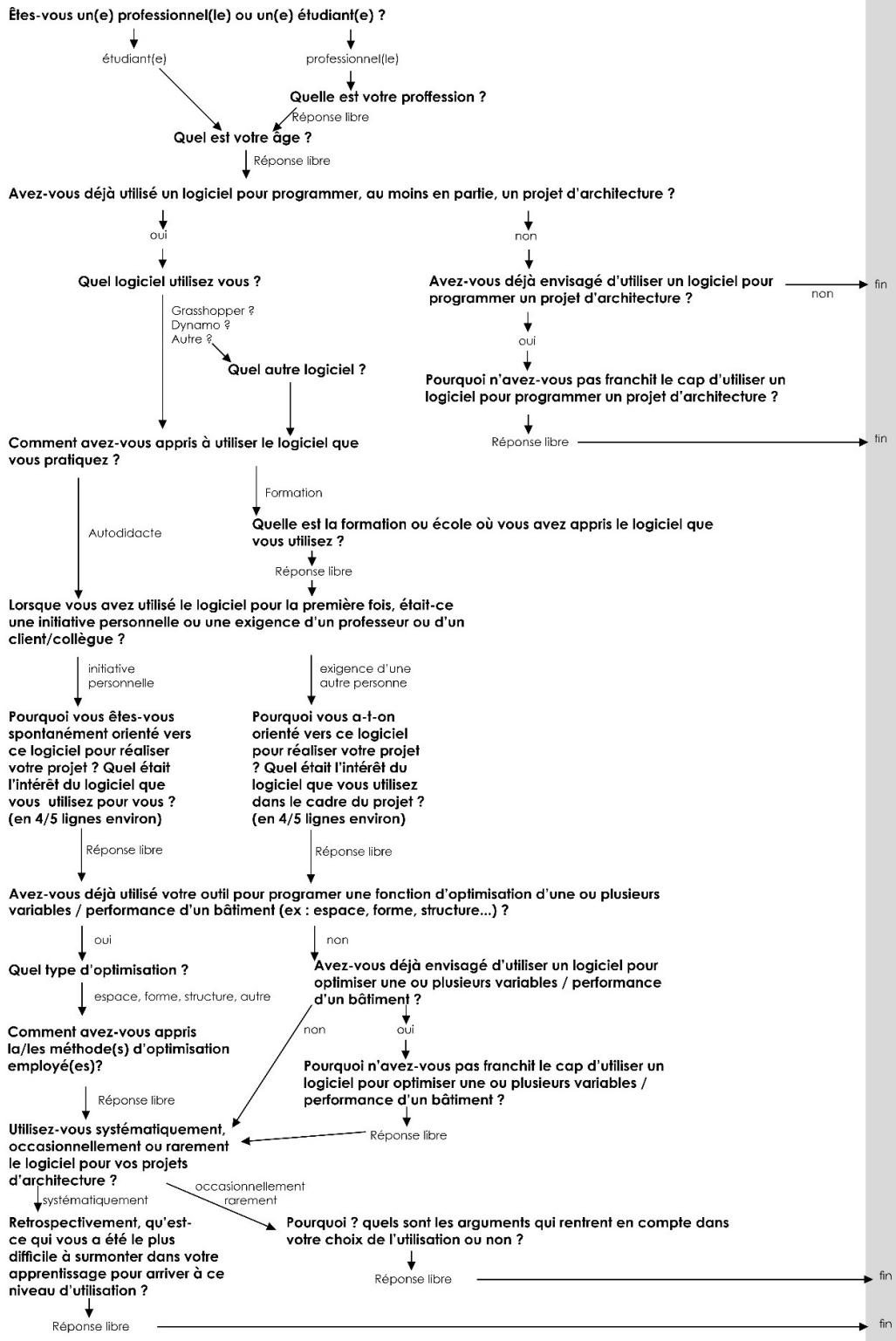


Schéma 2 : Schéma de fonctionnement du sondage

Les deux premières question (pour les étudiants), trois première (pour les professionnels), servaient à déterminer si le sondés était un(e) professionnel(le) ou un(e) étudiant(e), ainsi que l'âge du participant et sa profession, dans le cas d'un professionnel.

*Q1 Êtes-vous un(e) professionnel(le) ou un(e) étudiant(e) ? (Question a choix unique : étudiant(e) ou professionnel(le))*

\_étudiant(e) : 69% (103 sondés)

\_professionnel(le) : 31% (47 sondés)

Si et seulement si le candidat avait répondu qu'il était un professionnel, alors la question suivante était

*Q1.1 Quelle est votre profession ? (Réponse libre)*

\_Architecte : 77% (36 sondés)

\_AMO : 2% (1 sondés)

\_Architecte d'intérieur : 2% (1 sondés)

\_Architecte urbaniste : 5% (2 sondés)

\_Architecte designer : 2% (1 sondés)

\_BIM manager : 2% (1 sondés)

\_Chef d'entreprise métallerie : 2% (1 sondés)

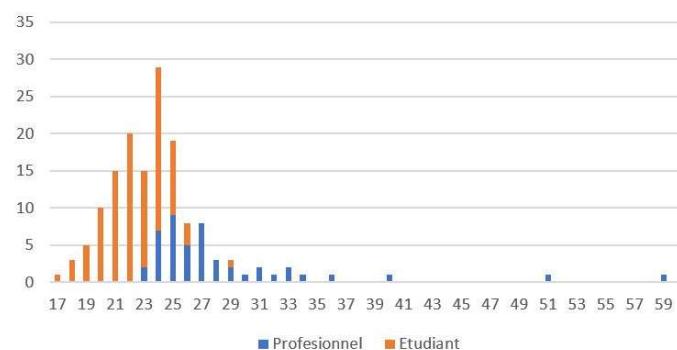
\_Designer : 2% (1 sondés)

\_Ingénieur-Architecte : 2% (1 sondés)

\_Ingénieur Travaux : 2% (1 sondés)

\_Maître d'œuvre : 2% (1 sondés)

*Q2 Quel est votre âge ? (Réponse libre)*



Pour les questions suivantes, il y avait une distinction entre les réponses des étudiants et celles des professionnels. Dans la suite des résultats du sondages on va donc distinguer les réponses des professionnels et celles des étudiants.

*Q3 Avez-vous déjà utilisé un logiciel pour programmer, au moins en partie, un projet d'architecture ? (Question à choix unique : oui ou non)*

\_Professionnels :

Oui : 49% (23 sondés)

Non : 51% (24 sondés)

\_Etudiants :

Oui : 36% (37 sondés)

Non : 64% (66 sondés)

Si la réponse était « non » à la Q3, alors les sondés étaient orientés vers les questions suivantes.

*Q3.1 Avez-vous déjà envisagé d'utiliser un logiciel pour programmer un projet d'architecture ? (Question à choix unique : oui ou non)*

\_Professionnels :

Oui : 17% (4 sondés)

Non : 83% (20 sondés)

\_Etudiants :

Oui : 33% (22 sondés)

Non : 67% (44 sondés)

Si le candidat répondait « non » à la Q3.1, le questionnaire se finissait pour lui. Si et seulement si le candidat répondait « oui » à la Q3.1 alors on lui soumettait la Q3.2

*Q3.2 Pourquoi n'avez-vous pas franchi le cap d'utiliser un logiciel pour programmer un projet d'architecture ? (Réponse libre)*

Les réponses brutes des candidats étaient les suivantes :

Professionnels :

Formation requise / manque de temps

Formation nécessaire / rapport temps inexpérience

Parce que l'agence où je travaille n'a pas de logiciel de prog, ni la volonté de trouver le temps de s'y mettre.

J'ai jamais essayé d'apprendre les logiciels et je ne trouve pas cela vital pour l'architecture, surtout au delà des esquisses. Peut être plus pour l'urbanisme...

Etudiants :

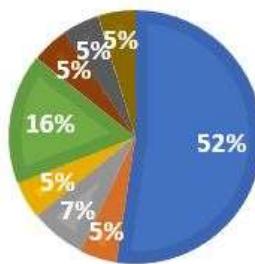
Le temps d'apprendre le logiciel et les manips
la nécessité de le faire ne s'est jamais présentée
Parce qu'inutile en tant qu'étudiant
projet inadapté
Pas le droit en cours, que au crayon et papier
ne sait pas encore l'utiliser
Les projets réalisés ne s'y prêtaient pas
préfère dessiner
Pas encore d'utilité
ne sais pas comment faire
trop peu de connaissances acquises en cours d'info (en amphi, la blague....)
Je n'en connais pas
Manque de compétence dans le logiciel et Manque de temps pour son apprentissage
Pas encore l'occasion
Pas le temps
Je ne sais pas comment m'y prendre
Je veux tester juste par curiosité, mais je ne suis pas convaincue
Complication du logiciel
Défaut de temps, en plus, il me fallait apprendre le language Python pour utiliser dynamo sur revit
trop complexe
Temps
Je n'ai jamais été confronté à une phase de programmation architecturale.

## FIN DU QUESTIONNAIRE POUR CETTE POPULATION

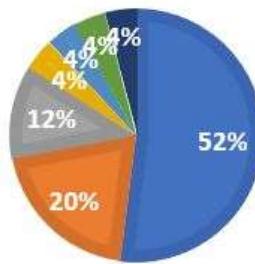
Si la réponse était « oui » à la Q3, alors les sondés était orientés vers les questions suivantes.

### Q4 Quel logiciel utilisez-vous ? (Réponse libre)

## ETUDIANT



## PROFESSIONNEL



Q5 Comment avez-vous appris à utiliser le logiciel que vous pratiquez ? (Réponse à choix unique : Autodidacte ou Formation)

\_Professionnels :

Autodidacte : 62% (15 sondés)

Formation : 38% (9 sondés)

\_Etudiants :

Autodidacte : 68% (25 sondés)

Formation : 32% (12 sondés)

Si et seulement si le sondé répond qu'il a reçu une formation. Il répond alors à la question suivante

*Q5.1 Quelle est la formation ou école où vous avez appris le logiciel que vous utilisez ? (Réponse libre)*

Professionnels :

Formation Pro interne

Ensa normandie

University of Kansas

Centre de forlation

ENSAPM

ENSAG

Ensaplv

ENSA Nancy

formation interne à l'entreprise

Etudiants :

ENSA VT Marne La Vallee

ESTP

EPFL (Suisse)

Formation par un autre étudiant

École d'archi de Nancy et l'agence dans laquelle j'ai fais mon stage de 1e pratique

Fa+u

UDEM

ENSAL

ENSA Toulouse

cours d'informatique école d'archi

Ensa Versailles

ENSAPLV

*Q6 Lorsque vous avez utilisé le logiciel pour la première fois, était-ce une initiative personnelle ou une exigence d'un professeur ou d'un client/collègue ? (Réponse à choix unique : Initiative personnelle ou exigence d'une autre personne)*

Professionnels

Initiative personnelle : 29 % (17 sondés)

Exigence d'une autre personne : 71% (7 sondés)

Etudiants :

Initiative personnelle : 38% (14 sondés)

Exigence d'une autre personne : 62% (23 sondés)

Si le sondé répondait qu'il s'agissait d'une initiative personnelle alors il répondait à la question Q6.1

*Q6.1 Pourquoi vous êtes-vous spontanément orienté vers ce logiciel pour réaliser votre projet ? Quel était l'intérêt du logiciel que vous utilisiez pour vous ? (En 4/5 lignes environ) (Réponse libre).*

Professionnels :

Le moyen le plus direct de rentranscrire sa pensee. L'outil informatique avec REVIT n'est pas un obstacle. Il permet de maniere, juste, rapide et sans se voiler la face de materialiser son projet. Il ne tombe pas dans la derive du parametrique qui pense a la place de l'architecte ou bien d'Autocad ( logiciel archaique et machiavelique) qui fait moins bien que la main.

Interêt particulier pour la question du paramétrique. Curiosité afin d'observer les capacités et possibilités de ce type d'approche

explorer les formes que peut produire cette approche, automatiser des processus dans le flux de conception, mettre en application numérique des connaissances géométriques

Projet en 3D pour se rendre compte des détails, partage du projet BIM, Gestion des jeux d'impressions et de mises en page. Lecture des DWG.

Liberté et gestion plus simple des formes complexes

BIM facile d'accès

éco-conception

Envie de comprendre les modes de conception - nécessité de modifer un projet ayant déjà été réalisé sur ce logiciel

répond à une idée de conception, ouverture vers de nouvelles approches de concevoir l'architecture

Structure et géométries complexes, fabrication robotisée, simulation et algorithmes d'optimisation génétique

Complet et intuitif. Bim intégré et travail en partage

Pour dessiner des structures complexes de manière paramétrique. Pour expérimenter des formes.

Curieux de comprendre et de savoir comment on fabrique certaines formes paramétrables.

Le fait de pouvoir tout contrôler facilement et d'offrir de nouvelles possibilités au client.

Pratique sur Revit

Le langage web est l'avenir des ERP, il est multi support

automatiser des tâches répétitives

#### Etudiants :

##### Gain de temps

J'étais déjà (très) compétent en programmation et ça m'a permis de gagner du temps, de ne pas effectuer des actions répétitives mais de se poser la question de ce qui fait système

J'ai entendu parler d'architecture paramétrique et j'ai eu envie d'essayer tout simplement. Après quelques tests je me suis rendu compte que je pouvais utiliser le logiciel pour un de mes projets, essentiellement concernant le design de la façade/toiture en créant une structure hexagonale efficiente et non juste un dessin de texture autocad

J'utilisais artlantis qui n'est pas du tout simple ni intuitif ... de plus mon formateur archicad m'a signalé que les développeurs allaient arrêter ce logiciel et m'a donc conseillé twinmotion qui est bcp plus intuitif pour la mm utilisation... effectivement le top

Simple d'utilisation lorsqu'on le connaît un peu, un mode paramétrique pratique, beau travail en plan comme en 3D, un seul fichier peut nous permettre d'obtenir tout ce dont nous avons besoin pour un rendu de projet

C'était pour un projet abstrait à base de cubes qui étaient plus faciles à dimensionner et placer dans l'espace grâce à Sketchup que de faire des dizaines de micros modifications avec des maquettes

##### Programmer des 3D paramétrées (toitures et persiennes, j'ai dit tout ça dans le premier sondage maggle)

c'est le logiciel le plus utilisé dans les agences d'archi la ou je suis

Disons qu'on m'en avait parlé, et que je connaissais quelqu'un qui pourrait m'aider en cas de problème, c'était quelque chose d'important pour moi de pouvoir compter sur quelqu'un

facilité + travail à la main dessus

...

Pouvoir imprimer à différentes échelles, précision des mesures, jeu des épaisseurs de traits, rapidité du dessin

Intérêt pour l'outil informatique que je trouve "plus pratique" les exports rhino/revit marchent très bien, dès que j'ai une forme un peu complexe ça marche impeccablement. L'approche professionnelle est identique dès qu'on a plusieurs solutions à générer et comparer.

Si le sondé répondait qu'il s'agissait d'une exigence d'une autre personne alors il répondait à la question Q6.2

*Q6.2 Pourquoi vous a-t-on orienté vers ce logiciel pour réaliser votre projet ? Quel était l'intérêt du logiciel que vous utilisez dans le cadre du projet ? (en 4/5 lignes environ) (Réponse libre).*

Professionnels :

Optimiser acuité d'études de faisabilité pour augmenter la part de projets en maîtrise d'ouvrage directe

Tout simplement car ce sont les logiciels utilisés par mon bureau

Pour créer un prototype de lampe avec des formes loftées

Thème du semestre à l'école, j'ai aimé la logique et utilise souvent GH désormais,

Paramétrage

Grasshopper était un moyen de découvrir l'approche paramétrique du projet mais également de l'auto-correction / régulation de certaines caractéristiques fondamentales lors du processus de modélisation.

Automatiser certaines tâches (Répétition de motifs, duplication des vues dans revit)

Etudiants :

Programmer une situation aléatoire

J'ai utilisé ce logiciel dans le cadre d'un cours, afin d'apprendre le BIM, qui devient de plus en plus incontournable dans le BTP et la conception réalisation. Son intérêt est multiple (rapidité du dessin, large panel d'outils d'étude..)

Meilleure rendu

XX

Pour réaliser un projet où le but était d'explorer le potentiel spatial des formes complexes.

Pour notre exercice de projet nous avions le choix entre Grasshopper et Python pour Rhino, globalement parce que c'étaient ceux maîtrisés par les enseignants et donc ceux sur lesquels ils pouvaient nous aider. J'ai choisi Grasshopper parce qu'il était à mes yeux plus facile, visuellement notamment, et un peu plus intuitif.

Parce que c'est celui utilisé à l'école et que le professeur le maîtrisait

Travailler les rendus 3D avec lumière, topographie et textures pour un meilleur réalisme

Sketchup; Certainement car il s'agissait d'un logiciel assez simple qui répondait aux demandes des profs pour notre niveau (deuxième année)

Autocad la même chose. Il permet de répondre aux exigences demandées

C'etait Une exigence de l'enseignante

La plupart des étudiants utilisent autocad, il est donc plus facile d'apprendre à s'en servir. L'intérêt est que nous dessinons tout comme à la main tout en gagnant du temps. Pour ArchiCAD et grasshopper c'était dans le cadre d'un td organisé par un prof de CAO.

Toiture qui sculpte les points de vue et qui crée des points de perspective précises

Flexibilité au long du projet

Rapidité

Formes

GH <3

requirement set by professor

Car c'est un choix pédagogique de l'école

Nous obliger à apprendre un nouveau logiciel qui nous permettrait plusieurs possibilités de création

Le but était surtout de nous former au logiciel dans la cadre d'une pratique future.

Le logiciel était obligatoire. De plus, un professeur étant spécialiste de celui-ci dans notre école, il semblait naturel de se diriger vers Grasshopper

Lors d'un workshop en collaboration avec l'artiste Thomas Saraceno, nous participions à la création d'une oeuvre qui devait être exposée au Palais de Tokyo. C'était une sorte de toile d'araignée que nous avons programmée à l'aide de Grasshopper où nous pouvions donc la tester.

Intensifs numériques- architecture paramétrique. Burning Man Pavilion

Logiciel de travail commun à toute l'agence. Aucun intérêt propre, sauf celui d'être commun et partagé.

C'était choisi par le professeur.

L'enseignant considère que c'est le logiciel d'intérêt pour l'avenir vu la compatibilité avec BIM aussi pour avoir une conscience des paramètres qu'on utilise lors d'un projet

*Q7 Avez-vous déjà utilisé votre outil pour programmer une fonction d'optimisation d'une ou plusieurs variables / performance d'un bâtiment (ex : espace, forme, structure...) ? (Réponse à choix unique : oui ou non)*

\_Professionnels :

Oui : 58% (14 sondés)

Non : 42% (10 sondés)

\_Etudiants :

Oui : 30% (11 sondés)

Non : 70% (26 sondés)

Si la réponse à Q7 est « non » les sondés concernés répondaient alors à la question suivante :

*Q7.1 Avez-vous déjà envisagé d'utiliser un logiciel pour optimiser une ou plusieurs variables / performance d'un bâtiment ? (Réponse à choix unique : oui ou non)*

Professionnels :

Oui : 20% (2 sondés)

Non : 80% (8 sondés)

Etudiants :

Oui : 27% (7 sondés)

Non : 73% (19 sondés)

Si la réponse à la question Q7.1 est « non » alors le sondé passait à la question Q8.

Si la réponse à la question Q7.1 est « oui » alors le sondé passait à la question Q7.1.1

*Q7.1.1 Pourquoi n'avez-vous pas franchi le cap d'utiliser un logiciel pour optimiser une ou plusieurs variables / performance d'un bâtiment ? (Réponse libre)*

Professionnel :

La question n'est pas assez claire, qu'entendez vous par performance?

Ce n'était pas mon travail.

Etudiant :

Le temps d'apprentissage n'est plus trop possible une fois qu'on travaille en agence, il est difficile de se libérer du temps pour apprendre de nouveau logiciel (dans ta première question je n'avais le choix qu'entre étudiant et pro... je suis en formation HMO donc je suis dans une agence mais sans être encore totalement professionnel)

Je n'ai pas vraiment eu l'occasion/le temps au cours de mes projets. Ce n'était pas nécessaire, mais plutôt quelque chose qui m'intéressait et pour lequel j'aurais dû m'autoformer.

Complexité du logiciel et pas forcément le temps en master pour apprendre le logiciel en profondeur

Pas encore eu l'occasion, pas forcément les connaissances (logiciel et optimisation) nécessaires

Je n'avais pas les compétences nécessaires

La formation sur le logiciel était de courte durée et je n'ai pas eu l'occasion de l'approfondir.

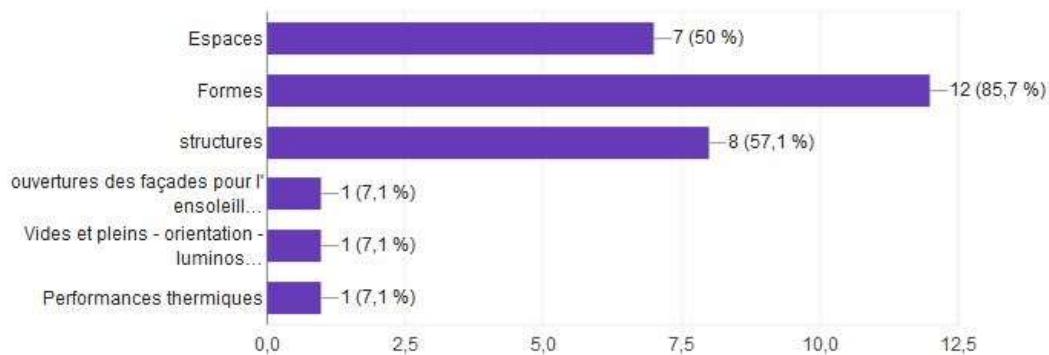
nsp

Les sondés ayant répondu à la Q7.1.1 passent ensuite à la Q8.

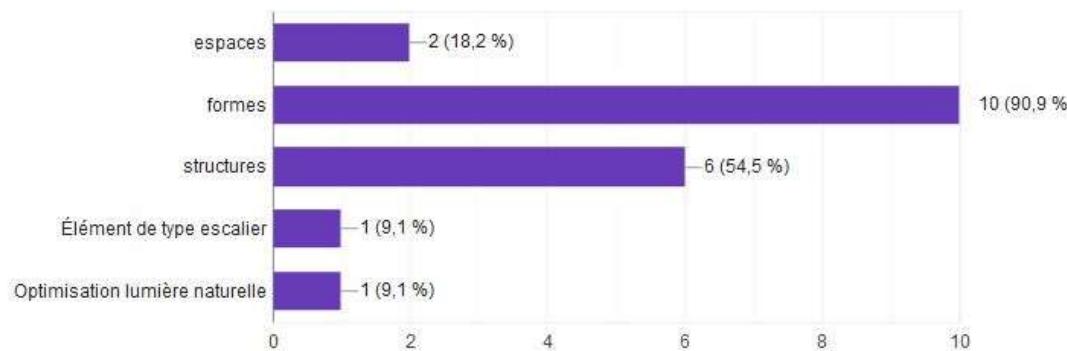
Si la réponse à Q7 est « oui » les sondés concernés répondaient alors à la question suivante :

**Q7.2 Quel type d'optimisation ? (Réponse libre)**

Professionnels :



Etudiants :



Les sondés ayant répondu à la question Q7.2 passe ensuite à Q7.2.1

**Q7.2.1 Comment avez-vous appris la/les méthode(s) d'optimisation employé(es) ? (Réponse libre)**

Professionnels :

Autodidacte

De manière autonome, ce n'est ni les cours de l'ENSAPLV ou de l'ESTP ou bien une formation qui répondent à nos questions d'architectes.

Formation

Tuto YouTube

Formation

algorithmes personnels issus de mes connaissances

On me les a expliqué

Dans le cadre d'un projet de recherche, avec l'appui de mathématiciens

Tatonnement

Avec un tuteur, un enseignant chercheur de l'université technique de Bratislava

youtube tutorial

Google et bao!

Etudiants :

Je b'ai pas utilisé une méthode d'optimisation type Galapagos mais j'ai optimisé ma structure en effectuant les calculs à côté puis j'ai créer les résultats de mes calculs avec GrassHopper

Guidée par quelqu'un qui connaît, et avec l'aide d'un plugin.

Sur le tas

youtube

J'ai cherché un peu, et on m'a filé un coup de main pour vraiment le faire bien

Internet

aide

ENSAL

Cours et seule

Durant la durée de l'intensif puis en apprentissage autodidacte

Tuto internet (Karamba/Ladybug/Galapagos)

Les sondés ayant répondu à la Q7.2.1 répondaient ensuite à la Q8

*Q8 Utilisez-vous systématiquement, occasionnellement ou rarement le logiciel pour vos projets d'architecture ? (Réponse à choix unique : Systématiquement ou Occasionnellement/Rarement)*

\_Professionnels :

Systématiquement : 37% (9 sondés)

Occasionnellement/Rarement : 63% (15 sondés)

Etudiants :

Systématiquement : 46% (17 sondés)

Occasionnellement/Rarement : 54% (20 sondés)

Les sondés ayant répondu « Occasionnellement/Rarement » à la Q8 répondait ensuite à la question Q8.1

*Q8.1 Pourquoi ? quels sont les arguments qui rentrent en compte dans votre choix de l'utilisation ou non ? (Réponse libre)*

Professionnels :

Rendu non credible, projets peu contextuels

Tout ce que Archicad ne sait actuellement pas faire selon le projet. Taille, type et besoins du projet

Je n'en ai pas le besoin

le temps et l'intérêt (aucun intérêt pour une villa "standard" par exemple)

Temps

les patrons, et le temps ne permet pas toujours de faire un modèle GH

Temps

Intérêt entre le temps passé à maîtriser le logiciel et les résultats à venir

Intérêt du paramétrique, prise en compte d'un environnement particulier ou recherche morphologique primordiale

répond à la volonté architecturale propre à chaque projet, et donc pas toujours nécessaire

Projet qui nécessite pas ce genre de programme

Architectes peut enclins à laisser du temps pour cela / projets non intéressant pour cela.

Complexité du projet

Dynamo reste un logiciel complémentaire que j'utilise uniquement quand j'ai besoin d'automatiser des tâches difficiles à réaliser.

le temps

Etudiants :

#### Flemme

Ce n'est pas systématiquement un gain de temps.

Étant étudiant cela dépend avant tout de la liberté que j'ai dans mes projets. Tout cela est également relativement nouveau, je n'ai donc pas eu tant d'occasion que ça et je ne peux pas dire que j'en ai une utilisation systématiquement dès à présent

Peu d'encadrement à l'école qui laisse assez de liberté pour le pratiquer tout en le reliant à une vraie problématique (l'optimisation de forme est souvent assez artificielle, sans répondre à un réel besoin architectural)

La plupart des projets que j'ai fait / que je fais actuellement ne nécessitent pas ce genre de logiciel

Trop complexe à maîtriser. Le bon bon view AutoCAD sketchup fait l'affaire !

La vitesse de programmation et de réalisation ainsi que sa qualité graphique

Grasshopper est très compliqué, s'il s'agit de faire des choses simples, c'est beaucoup plus rapide sur Rhino ou autre.

On débute sur les logiciels donc pour l'instant le travail au stylo crayon feutres etc .. est encore très naturel

Je me souviens plus de la question

A vrai dire, les profs ne sont pas très ouverts à ce genre de pratiques, pour eux ça ne représente pas le travail qu'on est sensé faire. Pourtant ça représente notre futur métier, mais comme on nous le dit, on nous forme à l'architecture plus qu'à être architecte

Si c'est nécessaire dans mon parti

ambiances + graphisme plus sensibles à la main et moins rigides

pas assez de connaissances pour l'appliquer seul

Pas spécialement d'intérêt

Je trouve que l'utilisation des logiciels n'est pas très intuitive et j'ai des difficultés à l'utiliser sans avoir le sentiment de perdre mon temps.

La main pensante est à mon sens beaucoup plus efficace et intuitive

Je maîtrise vraiment très peu cet outil qui est vraiment très complexe, je ne vois pas encore son intérêt pour mon cas car je suis encore étudiante, et la programmation est quelque chose qui ne m'intéresse pas vraiment

Je n'ai pas eu l'occasion depuis cette initiation de travailler sur un projet nécessitant la programmation

Professeurs pas intéressés, outils vus comme "anecdotes" je suis d'accord avec l'idée que c'est un outil qui doit servir le projet mais qui ne le fait pas tout seul.

#### FIN DU QUESTIONNAIRE POUR CETTE POPULATION

Les sondés ayant répondu « Systématiquement » à la Q8 répondait ensuite à la question Q8.2

*Q8.2 Rétrospectivement, qu'est-ce qui vous a été le plus difficile à surmonter dans votre apprentissage pour arriver à ce niveau d'utilisation ? (Réponse libre)*

Professionnels :

L'archaïsme et le manque d'ouverture de notre enseignement. Le dessin à la main et REVIT ( et reciprocement) sont nos meilleurs outils actuellement.

Le conflit entre main et ordinateur est stérile et profondément ancré. Les deux sont pourtant terriblement complémentaires.

La frustration de ceux qui ont peur des nouvelles technologies et qui ne maîtrise pas pour autant tous les secrets des traces à la main qu'ils valorisent tant.

L'immensité des données du logiciel

La gestion de profil sur le logiciel et de transfert des données (jeux de stylos, matériaux etc...)

Coût de la formation

Savoir équilibrer un travail avec et sans : le paramétrique ( puisqu'on parle de GH et dynamo) peut être une immense perte de temps comme un gain de temps. Selon la phase du projet. Parfois il est judicieux de prendre le temps de réfléchir méthodologie avant de se lancer tête baissée. C'est la chose la plus difficile : savoir en user quand c'est nécessaire et efficace

Le rapport entre les savoirs faire à construire et leur transmission / communication. C'est difficile de convaincre quelqu'un du bien fondé et de l'évidence de quelque chose qu'on ne connaît pas encore.

A

Passer du temps sur l'Internet à rechercher des solutions aux problèmes que je soumettais au logiciel.

La création, après c'est bon

Etudiants :

Je ne suis pas très doué avec les logiciels informatiques, et j'ai encore du mal avec les mises en page, mises à l'échelle

Il fallait apprendre vite

Je n'ai pas encore un assez bon niveau sur ce logiciel ... il me faudrait du temps pour pouvoir m'y mettre dessus complètement et l'utiliser à 100% de ses capacités aujourd'hui je pense que j'en ne dois utiliser que 10% mm pas du logiciel mais qui est assez suffisant pour les projets sur lesquels je travaille ( pas de commandes publiques)

Xx

Se former seul

La maîtrise qui se parfait sur un certain temps

que le logiciel suive les formes complexes des croquis, il fallait à chaque fois chercher le bon tuto pour y arriver

le commencement et les calques

Compréhension intrinsèque de la logique

Comprendre quel logiciel est le plus optimal pour chaque projet

outils

Trouver les différentes commandes et s'adapter à l'espace de travail

apprendre à imprimer correctement

/

Le temps

Comprendre la logique du logiciel

Avoir l'accès à des bons tutoriels, aussi l'apprentissage a été plus facile car on voyait tout de suite les applications qu'on pourrait faire pour la suite de notre vie professionnelle (passage rapide à un projet)

**FIN DU QUESTIONNAIRE POUR CETTE POPULATION**

**FIN DEFINITIVE DU QUESTIONNAIRE**

## Annexe n°2 : entretien projet MESH

43 rue d'Hautpoul, Paris 75019, Monsieur Aymeric de la Bachelerie – tenue le 12 novembre 2018 de 18h à 19h30.

AdIB : Aymeric de la Bachelerie

LR : Luc Rousseau

LR : La première question est en fait double. J'aurais souhaité que vous m'exposiez les raisons du pourquoi et comment s'est développé MESH, le projet MESH. Car en fait si j'ai bien compris, au sein de l'agence de consultants, MESH c'est un projet, donc c'est une des méthodes de pratiques que vous avez pour pouvoir répondre à ...

AdIB : Ouais, exactement, pour pouvoir répondre à des problématiques de conception environnementales à l'échelle urbaine. Donc l'agence ne traite pas que de problématique à l'échelle urbaine, on est aussi appelé pour des missions d'ingénierie environnementale à l'échelle du bâtiment, mais lorsque s'agit de faire de l'optimisation environnementale des morphologies urbaines, on va dire, là on fait appel aux outils qu'on a développés dans MESH. Et MESH en gros, ba comment c'est né ? C'est euh... une réponse à un appel à projet. Faut savoir que tous les ans, je pense que c'est tous les ans, il y a l'ADEME heu, donc heu, qui est l'Agence de L'Environnement et de la Maîtrise de l'énergie. Donc l'ADEME lance un appel à projets qui s'appelle Modeval Urba. Et là en 2015 on a répondu avec l'agence et avec d'autres agences parce qu'en général on répond avec un groupement. Euh... nous on ne pouvait pas répondre seul parce qu'il fallait.... Euh... enfin c'était apprécié d'avoir une collectivité territoriale qui participait, donc un terrain d'expérimentation. Et puis c'était intéressant euh... toujours d'avoir heu. On va dire heu... un appui scientifique. Et donc là en l'occurrence on a répondu avec deux appuis : le lab Urba pour la partie indicateurs, études urbaines, heu... indicateurs de performances pour faire simple. Et puis Francesco Cingolani comme expert du design computationnel justement pour lier les deux. Et puis nous, comme mandataire du groupement, et comme faisant la synthèse et le lien entre l'expérimentation sur le territoire. Donc là la collectivité territoriale, ce n'était pas vraiment une collectivité territoriale, mais c'était un aménageur. Et c'était la Sadev 94 qui est un des aménageurs très implantés dans le 94 et notamment sur le terrain d'Ivry-confluence, qui est le site du projet. Et après heu... Donc voilà un peu en gros comment est né le projet. Avec plusieurs problématiques... Ba peut-être que je vais reprendre les problématiques que j'ai la dans la présentation papier [AdIB fouille dans une présentation papier tout en parlant], notamment sur le Pourquoi et la genèse de MESH. Et puis les projets qui sont un peu heu... on va dire parallèle et qui se sont développés en même temps parce que heu. Quand on a gagné en expertise heu sur la conception paramétrique on a développé d'autres projets aussi. Et on appliquait les mêmes méthodes sur le site. Ah non il n'y a pas le rappel là en fait des objectifs principaux. Les objectifs principaux, en gros, c'est : comment heu... Quels sont les bons indicateurs de la performance environnementale à l'échelle des villes ... les quartiers ? Lorsqu'on est en conception d'un nouvel aménagement. Donc est-ce que ça va être, heu je ne sais pas, les facteurs du ciel... les radiations... est-ce que ça va être le confort thermique en espaces extérieurs, est-ce que ça va être les consommations énergétiques heu... Est-ce qu'on peut avoir des indicateurs de synthèse qui regroupent un peu tout ça. Qui regroupe différentes problématiques aussi. Qui est heu... qui peut être à la fois liée au confort, aux ambiances, mais aussi à la sobriété énergétique, la gestion des ressources, etc.

Donc quels sont les bons indicateurs... le deuxième point c'était : Comment rendre plus rapide, plus efficient, on va dire, la recherche de forme dans un processus opérationnel qui est assez

exigeant, assez difficile, avec beaucoup d'acteurs. Avec des jeux politiques qui sont assez complexes... Heu, et donc comment faire en sorte d'améliorer, de graisser les rouages pour que ça marche mieux, et pour qu'il n'y ait pas, en quelque sorte, juste : une conception heu... à laquelle va suivre une phase d'évaluation. Donc une phase de conception qui est réalisée par les urbanistes avec qui on travaille. On reçoit les formes qu'ils nous proposent en quelque sorte. Heu. ; qu'on évalue, sur la base des différents indicateurs, lorsqu'on a choisi, lesquels étaient les bons. On les évalue et heu. À partir du moment où on en a évalué deux trois ba on dit : il faudrait plutôt s'orienter vers cette forme ou plutôt vers celle-là, celle-là apporte cela et celle-là n'apporte rien, etc. Quels sont les avantages et inconvénients de chacune des formes et laquelle fait le meilleur compromis entre les différents indicateurs. Sauf que, heu en général quand on faisait ça, et on s'en a rendu compte assez rapidement justement sur heu l'opération Ivry-Confluence avec l'agence Nicolas Michelin. Avec laquelle on a commencé à travailler sur l'ilot 4G. Qui était un peu l'ilot Beta pour nos outils. C'est celui-là où on a vraiment commencé à développer le projet. Et heu, c'était intéressant sur Ivry-Confluence parce que bon : il y a un urbaniste de secteur qui est Bruno Fortier puis après il y a plein d'urbanistes. Enfin il y a un urbaniste de ZAC et après il y a plein d'urbanistes de secteur qui sont heu... qui est Nicolas Michelin, qui sont François Leclerc, etc. C'est des grands noms de l'urbanisme heu et du coup ba l'idée c'était un petit peu de comparer leur approche de l'urbanisme au regard de la performance environnementale. Et heu. Lorsqu'on évaluait ces formes, et bien on avait, on avait comme premier retour.... Enfin on n'arrivait pas à suggérer en fait une évolution. C'est-à-dire qu'on arrivait à indiquer les problématiques liées à telle ou telle forme, mais on n'arrivait pas à aller sur-le-champ de l'urbanisme heu. En disant ba il va falloir faire ça pour s'améliorer quoi. Et donc on n'était pas suffisamment force de proposition et c'est donc pour ça qu'on s'est doté d'outil de conception paramétrique, pour faire varier un maximum... pour trouver de nouvelles options et voir optimiser les formes. Donc ça, c'est un peu le pourquoi en saisissant l'opportunité du design paramétrique qui était une expertise qui s'est développé à l'agence après.

LR : D'accord, et initialement, là vous dites. À un moment vous vous êtes dit on va utiliser l'outil paramétrique pour pouvoir avoir cette évolution, ce qui est tout à fait louable. Et comment l'idée est arrivée sur le tapis ? Quelqu'un avait déjà travaillé dedans ? ou quelqu'un s'est dit, « mais je connais ça donc le plus simple c'est de faire ça. » Est-ce qu'il y a eu un déclencheur particulier ?

AdIB : Non il n'y a pas eu vraiment de déclencheur puisqu'il y a eu, il y a plusieurs personnes qui commencent un peu à utiliser grasshopper à l'agence. Heu, moi-même je l'avais utilisé quand j'étais étudiant. Mais on avait des doubles diplômés à l'agence. Moi je suis Ingénieur-Architecte, donc voilà c'est des outils qui se développent beaucoup en architecture. Du coup c'était une opportunité parce que... en quelque sorte, c'était tout de suite beaucoup plus facile, d'accéder à de la programmation visuelle sans être un programmeur expert. Et donc de connecter, de faire des liens et donc de créer rapidement des itérations.

LR : Donc vous, vous avez fait centrale et ....

AdIB : Moi j'ai fait centrale et après Politecnico di Milano.

LR : Et donc vous aviez fait une formation à Politecnico ?

AdIB : Non c'est plutôt de mon propre chef, je n'avais pas suivi de formation à Politecnico di Milano, par contre heu... il y en avaient plusieurs qui utilisaient ces outils, comme dynamo sur Revit. Et donc heu c'est un peu comme ça que. On a ; j'ai développé cette expertise au sein de mon groupe de mémoire de master. Mais plutôt à l'échelle du bâtiment.

LR : D'accord. Parce que ça fait aussi partie de mes questions du pourquoi l'idée a été proposée à l'agence. Mais l'idée venait des intervenants dont vous. Et du coup, comment cela arrive sur le tapis c'est ça aussi.

AdIB : Ba il y avait des liens heu... en fait celui qui était à l'origine du projet du côté Franck Boutté Consultant c'est Florian Dupont, qui n'est plus là, enfin qui n'est plus à l'agence maintenant. Et qui était le responsable du pôle ville et territoire.

Et qui connaissait bien Francesco Cingolani et c'est comme ça que c'est né un peu le projet. Alors après il s'est trouvé qu'il y avait des ressources en interne qui était à même aussi de développer les algorithmes quoi.

LR : Vous aviez les connaissances nécessaires pour aller jusqu'à faire ce que vous vouliez déjà en programmation ou vous avez dû embaucher des gens pour avoir les connaissances d'algorithme ou de codage nécessaire.

AdIB : Non on avait, on avait les compétences nécessaires. Et on les a développés. On s'est formé. Après c'est sûr qu'il n'y a pas eu toujours autant de temps qu'on le voulait pour développer un peu la recherche, donc quand ça été nécessaire. Donc là par exemple cet été il y a eu valentin P. qui travaillait vraiment sur l'optimisation, donc c'était un des modules qu'on voulait développer parce que MESH en gros ça fonctionne comment ? Il y a une partie de génération, de génération des formes, qui va aller nourrir une série d'outils d'évaluation donc qui va nous donner les indicateurs de performance. Donc ça c'est génération. Et entre les deux il y a de l'optimisation. Puis après il ya une partie un peu heu... qui récupère un peu tout ça. Et qui est du post traitement. Et la partie post traitement elle permet heu... de communiquer avec les urbanistes principalement, de les aider à choisir. Même pour nous ça nous permet d'avoir un feedback sur l'optimisation. Ou même avec les chercheurs d'avoir l'ensemble des individus, des populations de formes qui ont été générées, lors du processus d'optimisation. D'avoir leurs caractéristiques et donc de pouvoir ensuite essayer de faire des études statistiques sur ces populations. De, éventuellement voir qu'elles sont les corrélations entre les indicateurs. Parce qu'on part avec un grand jeu d'indicateurs, identitairement assez large. Et sans a priori sur des corrélations éventuelles. Sauf que, lorsqu'il y a beaucoup de corrélation entre certains indicateurs, ça va biaiser le processus d'optimisation. Donc heu. Au bout d'un... en fait ce qu'on essaye de faire en ce moment. Donc c'est un peu le thème de la recherche aussi, sur la partie indicatrice. C'est de créer ce qu'on appelle un système d'indicateurs. C'est-à-dire un ensemble d'indicateurs qui ne sont ... peu lié par des relations quantitatives. Et qui agglomère, du coup, les différents critères dans des familles non corrélées. Ce qui permet d'avoir en fait une évaluation multicritère de la forme. Et de faire une optimisation non biaisée.

LR : Et j'avais une question juste sur la formation. Du coup vous avez payé des formations en plus ou c'est de l'autodidacte pur.

AdIB : c'est de l'autodidacte.

LR : Du coup voilà, je voulais revenir sur ce que vous me disiez : Génération, optimisation, évaluation. Du coup les urbanistes, ils interviennent dans le post-traitement. Mais je suppose que vous avez dû rentrer, au moment où vous codiez la première partie et tout, vous avez du coder informatiquement des principes d'urbanisme.

AdIB : Exactement.

LR : et ça vous y retouchez régulièrement ?

AdIB : Eh oui, on y touche assez régulièrement. En fait heu... Alors. Justement ça va me permettre de parler des éléments du coup qui sont encore au stade de la recherche et de l'expérimentation. Donc les indicateurs se sont pas mal développés au niveau de la recherche. On a donc quand même vachement étoffé le spectre des évaluations possibles. Et ça, c'est plus ou moins abouti quoi. De toute façon c'est un peu notre cœur de métier et on était les sachants sur cette partie. C'est en plus assez documenté. Même si, à l'échelle urbaine le.... Et surtout sur des problématiques lorsque on...on veut optimiser des formes. Ba à ce moment-là il faut aller vers heu... les calculs qui sont les moins couteux possible. Et prennent le moins de temps possible pour en évaluer le plus possible. Pour vraiment avoir un gain dans l'optimisation. Ce qui est difficile c'est de trouver des indicateurs qui sont suffisamment simples pour être calculé rapidement et suffisamment parlant et représentatif et heu.... Voilà. Mais globalement on va dire que sur cette partie il n'y avait pas énormément, énormément d'inconnues. Sur la partie optimisation, on a beaucoup travaillé cet été. Et notamment sur les algorithmes d'optimisation génétique multicritères. Et sur le plug-in Octopus.e. donc Octopus c'est le ... c'est un peu le package... heu... tout-en-un avec une interface un peu particulière. Une interface clefs en main un peu comme heu galapagos. Sauf que galapagos il fonctionne en mono critère, octopus en multi critères. Donc vraiment basé sur Pareto. Octopus.e, c'est une autre version de ce plug-in. Qui est produite par le même... Qui a été mise à disposition par la même personne. Et « e » pour explicite. Et ça a l'avantage d'être une version où t'as l'ensemble des sous-composants qui sont disponibles et donc on peut relier. On peut vraiment modifier la boucle d'optimisation. Donc on peut intervenir sur l'algorithme de mutation, l'algorithme de sélection, etc. C'est ça vraiment l'objet du stage de Valentin P. Il a beaucoup avancé et ça a permis un peu d'affiner tous ces paramètres, qui sont liés plutôt à l'optimisation génétique. Et sur la partie génération. Alors pourquoi je dis que c'est encore en expérimentation parce qu'en fait ce sera toujours en expérimentation en quelque sorte. Parce que là on a décidé de faire de la génération qui est contextualisée. En fait on aurait pu, dès le début orienter la recherche MESH sur quelque chose de très théorique et donc de générique. Donc, avoir des formes urbaines archétypales. Heu... Donc l'îlot type, la barre, la tour...etc. les maisons individuelles, les maisons accolées. Enfin bref. Donc un peu ces formes archétypales, et heu... ça nous auraient permis de ba en gros on va optimiser dans ce sens-là. Sauf que, on ne voulait pas. Et on voulait directement s'orienter dans un dialogue avec les urbanistes et avec les collectivités territoriales. Comme c'était un peu le contrat qu'on avait passé à l'ADEM. Nous ça nous intéressait plus, car c'est plus opérationnel. On est directement confronté aux problématiques du terrain. Et on développe en plus la capacité à pouvoir répondre avec des urbanistes, sur des projets qui sont spécifiques. En plus de ça, ça nous permet de développer des indicateurs aussi. Qui sont spécifiques aux projets. Et qui vont intéresser aussi les urbanistes. Et donc c'est pour ça aussi qu'on va pouvoir emmener des urbanistes avec nous. Parce qu'ils vont être conscients que les indicateurs qu'on développe, c'est pour eux, c'est pour leur projet et ça a un sens sur leur territoire. Par exemple là sur Ivry-confluence. Un des enjeux sur certains projets c'était, les vues sur le parc, les vues qui était offertes sur un parc urbain qui était central à l'îlot ou à proximité. C'était l'accès vis-à-vis d'une station heu... un pôle de mobilité qui était proche. C'était les vues sur la scène. Donc tout ça, c'était des indicateurs qui étaient spécifiques au projet. Et en plus de ça la morphologie aussi était spécifique au projet. Donc la recherche de morphologie. Donc comment on la fait. Euh... donc pour l'îlot 4G. Ça ne s'est pas tout à fait passé comme ça. Enfin ça s'est passé. Heu... On a fonctionné en se déconnectant d'abord de la partie, de la recherche urbaine. On s'est déconnecté en fait du lien qu'on avait avec Michelin. Pour eux... cet exemple... cet îlot bêta. Parce qu'en gros on avait suffisamment... On avait trop peu de

connaissances et heu... de toute manière on n'avait rien à lui montrer. On ne pouvait pas le sensibiliser, on n'en pouvait pas l'embarquer. Donc on a commencé par nous-même, en quelque sorte, interprété ces intentions urbaines. À travers les schémas qu'il nous proposait. Donc on voyait en fait ces formes-là, qui étaient une des propositions qu'il avait fait suite à plusieurs itérations. Et sur ces formes-là, on pouvait lire un épannelage heu... vers un espace central qui était un parc. Une ouverture vers la seine. Et heu du coup... une émergence de ce côté-là. Et pareil une décroissance comme ça... voilà. Heu... Il y avait également, lié à des contraintes de PPRI heu.... La plupart des parkings étaient en fait au niveau de rez-de-chaussée. Euh... dans une espace de dalle et le parc était sur dalle. Donc en fait on avait heu... un cœur d'ilot, on va dire, qui recevait les parkings. On avait toute cette partie-là en front de rue qui était les commerces. Donc ça, c'est le rez-de-chaussée. Et donc tout ça c'était inondable potentiellement. Et après on avait toutes les fonctions habitation ou bureau au-dessus. Heu... Donc c'est comme ça qu'on s'est dit : on va fonctionner d'abord à emprise bâtie fixe, on ne veut pas trop le bouleversé quoi. Donc quelque part on se constraint dans cette recherche paramétrique. Euh... donc à ce moment-là on a le dessin de nos formes urbaines. Et on va jouer plutôt sur la hauteur. Donc à la base on voulait... les premières optimisations on cherchait à avoir un fond urbain qui était constant avec une émergence juste là. Et donc la seule... le seul paramètre qui variait c'était la hauteur ici au niveau donc on jouait sur cet épannelage. Donc quand on lui a montré ça. Et quand on lui a montré, quels étaient nos monos critères, les évolutions possibles sur les différents simulateurs. Donc pris séparément, car on est en mono critère.

LR : C'était en monocritère donc tout ça, c'était sur Galapagos, simples ?

AdIB : Oui tout ça c'était sur Galapagos. Mais on arrivait à avoir des résultats assez intéressants parce que, oui ?

LR : J'ai dit galapagos simples, car. À chaque fois vous reprenez les projets d'une phase... d'une base, vous appliquez votre critère, et pour un autre critère vous reprenez cette base et vous appliquez votre critère ? Ou alors vous preniez un premier que vous optimisiez à fond, et pour le critère deux, vous prenez la forme optimisée d'avant ?

AdIB : Non, on reprend systématiquement, là où le schéma illustre [cherche dans son livre] heu il est un peu avant. On a une forme un peu type, qui est celle-là. Qui est un peu : tout à zéro. Et puis il va tendre plutôt vers ça ou plutôt vers quelque chose d'autre en fonction du critère qu'on optimise.

LR : Et après la synthèse c'était l'urbaniste qui faisait...

AdIB : Donc la synthèse c'était nous et l'urbaniste, oui, ensemble. Et c'était l'objet de la discussion. Ce n'était pas mal, car ça permettait, non seulement de discuter des critères. Donc c'était une porte d'entrée, en quelque sorte pour les années à réfléchir : ba tient, qu'est-ce qu'on veut comme urbanité, qu'est-ce qu'on veut comme qualité environnementale pour cet îlot. Même remettre en fait ces discussions autour de la table avec l'aménageur c'était intéressant. Donc d'avoir le prétexte des études pour le faire. C'est souvent comme ça que ça marche déjà. Heu, et, deuxièmement, heu... ça permettait de mettre en avant certaines problématiques qui étaient liées, à la forme initiale. Et qui ne pouvait être...ou peut...optimisées. Qui ne pouvait pas ou peut être optimisée. Exemple, les vis-à-vis. Puisque heu, on aurait pu mesurer directement sur Rhino et voir qu'il n'y avait que 9 mètres au niveau des venelles qui étaient là. Heu, donc toutes les petites rues privées, là, qui permettaient en fait d'aller de l'espace public jusqu'à l'espace central semi-public. En fait il n'y avait que 9 mètres. Donc il y avait des vis-à-vis systématiques, ici là

[montre son plan] sur un très grand nombre de façades. ET c'est pour ça que c'est d'ailleurs, l'indicateur qu'on a le plus amélioré quoi. Entre les deux formes, on a eu moins 27 pour cent de vis-à-vis. Et les vues sur la Seine on pouvait aussi l'améliorer. Parce que ces formes qui étaient en vis-à-vis forcément elles masquaient aussi les vues. Ce qui était intéressant du coup c'est que ça faisait naître une discussion qui était, vraiment pour le coup, sur l'urbanisme. Puisque, Nicolas Michelin il avait comme intention, justement d'avoir, un effet, architectural presque, et spatiale, de compression et dilatation de l'espace. Donc pour lui c'était important d'avoir ces petites venelles, qui permettaient aux usagers de retrouver une dimension humaine, une dimension plus domestique. Et heu du coup, d'arriver sur cet espace qui le rendait vraiment privé. Et à nouveau s'ouvrait sur le vivre. Et c'est pour ça que par des jeux d'épannelage en fait, jeu de quinconce, on arrivait à optimiser ce vis-à-vis. Et donc c'est, de cette discussion que, du coup l'aménageur qui n'avait pas pris conscience de ça, c'est rendu compte qu'il y avait trop de vis-à-vis. Et donc qui a demandé à Nicolas Michelin de revoir, heu à l'agence. Je dis Nicolas Michelin, mais c'est à l'agence Nicolas Michelin. De revoir un peu sa copie, et heu de penser à d'autres formes. Et c'est à ce moment-là aussi qu'il y a un autre indicateur qui a émergé, qui était l'ouverture, les vues profondes. C'est comme ça qu'il l'appelait. Parce qu'il avait envie de champs dégagés. Pour lui le confort visuel, devait se... heu .... Se caractériser par des vues profondes. Et donc c'est pour ça qu'on a fait un deuxième travail d'optimisation. Où là il a fait un schéma. À ce moment-là, il s'est prêté un peu au jeu. Et c'est à ce moment-là qu'on a vraiment pu avoir un dialogue avec l'agence Nicolas Michelin. Et c'est in dialogue qu'on a après reproduit avec François Leclerc par exemple. Et le dialogue c'était sur la base d'un schéma : quels sont les éléments qui sont contraints ? Quels sont les éléments qu'on peut faire varier ? À partir du moment où, en fait, déjà on rentre dans une espèce de processus, où on accepte des variations où on dit : quelles sont les marges de manœuvre ? Et heu... et essayer de faire varier ça, nous on peut traduire en algorithmes. Et c'est à partir de là que l'on peut regarder. Euh... mais comment croiser justement, ces contraintes métriques, cette conception paramétrique avec les indicateurs de performance ?

LR : Du coup, à partir de ça j'ai plusieurs questions. La première c'est que : ça, c'était 2015, vous avez dit, on est en 2018. Vous avez fait combien de projets au total du coup utilisant MESH ? L'ordre de grandeur.

AdIB : Heu alors... ça c'était début 2016. Jusqu'à mi 2016 on a fait tous les cas d'études sur l'îlot 4G. 2017 on est passée à l'îlot 3G, 3I, 3N. Enfin, plusieurs îlots, avec François Leclerc. On a fait, depuis... Donc Mi 2017 et 2018. D'autres cas, en fait, qui ne sont pas sur la ZAC Ivry-Confluence. Donc, gare des mines. On a fait La Grande Motte, qu'on a gagnée avec François Leclerc. Qui est intéressant puisque c'est un urbanisme particulier, du coup qui se prête aussi à des formes qui sont un peu plus atypiques. Et heu, si Rémi nous rejoint il en parlera mieux que moi de la Grande Motte. Puis après on a développé des processus à peu près similaires sur des projets de réinventons la métropole du grand Paris, Pixel scape avec MVRDV donc ça, c'est à Saint-Denis Pleyel, où là on avait un processus, très eux, le design computationnel. On a, en fait, une parcelle, un foncier à créer, et donc on va ajouter ce foncier petit à petit. Et donc ça c'est une approche par ... voilà on voit un peu mieux là [montre une page de son livre]. Où en gros on construit de manière itérative un îlot, en ajoutant de petites unités de volume. Heu. Et donc on ajoute l'unité de volume, là où elle porte le moins atteinte aux autres unités de volume et là où elle peut être auto suffisante en quelque sorte.

LR : Du coup vous n'avez pas du tout encore rodé votre méthode non ?

AdIB : non du tout, ce n'est jamais rodé.

LR : La ma question du coup c'est, le processus maintenant c'est. J'arrive avec un projet, je veux commencer à bosser avec vous en utilisant MESH. Je vais arriver, vous allez d'abord me proposer des critères que vous avez déjà utilisés exploités ou alors dès le début vous allez me dire : bon alors voilà c'est quoi et quels sont les critères principaux pour vous ? Est-ce que la discussion avec moi ça va être dès le début pour me demander les critères, ou alors vous allez d'abord me proposer quelque chose et ensuite on affinera les critères ? Est-ce qu'il y a un schéma type qui s'est développé là avec les trois ans d'expérience ?

AdIB : Alors souvent, en fait, l'urbaniste n'est pas forcément, sachant des indicateurs environnementaux qui sont intéressants. Donc nous on lui suggère, déjà, souvent. Et en général il accepte quoi. C'est un dialogue qui ne se fait pas uniquement avec l'urbaniste, mais aussi avec la maîtrise d'ouvrage. Heu et donc en général ça, ça marche assez bien. Souvent ça fait naître deux nouveaux indicateurs, mais c'est plus le fruit d'une réflexion commune quoi. Après, on va dire, c'est plutôt sur les contraintes géométriques et sur son cas d'étude. Il y a deux cas de figure : soit il a déjà quelque chose en tête. Il a déjà certaines intentions urbaines. Soit il nous dit « ba je vous laisse carte blanche ! » ça d'est déjà arrivé aussi. Et en général du coup c'est nous qui faisons un peu d'analyse. Pour voir, qu'est-ce qui serait intéressant de faire. Et là, ça marche assez bien avec l'agence Franck Boutté parce qu'on a en gros, la plupart, on a à peu près tous des doubles cursus. On est beaucoup a avoir des doubles cursus. En tout cas, avoir un point de vue. Et donc on est forcé de proposition en général.

LR : Ouais, il y a une certaine ouverture qui permet de faire. Donc en fait vous avez vraiment un outil où, enfin d'utilisation large, mais spécialisée à chacun.

AdIB : et c'est pour ça aussi, on essaye de le développer, on accepte aussi que parfois ça fasse à perte. Parce que forcément ça prend du temps en fait. Ça, c'est aussi la question : les missions ne sont pas toujours identifiées. Ce n'est pas quelque chose qui se vend facilement forcément. Donc heu, nous c'est plus comme un... parfois c'est une démarche commerciale en fait, on va dire.

LR : parce qu'OK du coup ça c'était aussi une de mes questions, puisque vous n'utilisez pas MESH pour tous vos projets, est-ce que là de tête vous ne pourriez pas me dire les principaux arguments qui font que certains clients arrivent et dise « non ça moi je ne veux pas... » ou alors ceux qui disent « moi j'ai envie d'utiliser MESH ». C'est vous que le vendez ?

AdIB : Ba nous on le propose. Après je ne sais pas trop dire pourquoi les gens sont intéressés ou pas.

LR : OK, il n'y a rien qui s'est vraiment dégagé là-dessus... Il n'y a pas un attrait ou alors il y en a qui vont juste se dire qu'utiliser du paramétrique ça fait bien en plus pour le projet ? Est-ce que vous quand vous le vendez-vous exprimez un argument de gain de temps ? Ou pas du tout justement, vous pensez que c'est plus chronophage d'utiliser ça ? Où ça dépend des projets ?

AdIB : Non, en fait c'est plus chronophage. En fait l'argument gain de temps ne marche pas vraiment. C'est plus chronophage. Il y a un risque lié à l'expérimentation aussi. C'est plus risqué.

LR : C'est plus chronophage pour vous ou pour les clients au final ?

AdIB ; heu... pour tout le monde en fait.

LR : C'est un peu plus chronophage pour tout le monde en fait. Mais avec heu... Il y a un risque aussi ! Le risque de ne pas forcément aboutir, ou aboutir à quelque chose qui est peu convaincant. Mais il y a aussi un vrai argument, surtout en phase concours pour les maitresses d'ouvrage qui heu... vont être sensible à cet argument d'optimisation dès le départ, d'avancer le processus, de recherche de l'équilibre, et d'être un peu plus sécurisé sur la qualité environnementale du quartier. C'est un argument pour des équipes qui n'auraient pas fait ce travail d'exploration.

LR : Vous vous dîtes, nous on arrive, en disant au client que ça va prendre un peu plus de temps, mais on va pouvoir arriver au concours où on va pouvoir dire on est réglo, on est OK, on a déjà une optimisation bien faite sur le début.

AdIB : C'est-à-dire qu'on a déjà fait une exploration. Et qu'on a déjà, en quelque sorte, éliminé beaucoup de pistes, pour vous proposer une solution qui marcherait.

LR : Du coup est-ce que vous jouez aussi sur le fait de dire que ce qu'on fait aujourd'hui là maintenant, en fait sur la durée totale de l'exploration vous gagnerez du temps ? Entre guillemets c'est un peu ça ? ou pas ? Dans le sens où il y a une petite exploration au début, enfin, une exploration avec MESH. Qui prend un peu plus de temps que d'autres solutions qui n'exploront pas autant. Mais après si on continue dans ce sens jusqu'à la fin de la construction de l'îlot, là clairement, il y aura eu, un gain de temps à ce niveau-là.

AdIB : On en est pas encore là, on n'est pas encore là vraiment. En fait heu... MESH pour l'instant il se valorise surtout sur des projets où il y a un concours à un moment, pour prendre en fait le rôle d'urbaniste pour un nouvel aménagement. À ce moment-là l'urbaniste il va nous appeler en amont du concours. Souvent comme sous-traitant ou sous-traitant. Et l'idée, ça va être : comment on développer ? Comment on fait ensemble pour développer un urbanisme un peu optimisé on va dire. Donc on va développer tout le processus ici. Et c'est quelque chose qu'on va présenter après au moment du concours. À la maitrise d'ouvrage. C'est là qu'elle intervient la maitrise d'ouvrage. Donc en fait on ne gagne pas forcément de temps ici [montre une frise sur ça feuille] on ne gagne pas forcément de temps après non plus. Mais par contre, ce qu'on vend à la maitrise d'ouvrage, c'est tout ce que les autres n'auront pas fait ! C'est en quelque sorte, à ce moment-là de l'arbitrage sur la proportion de concours, heu ba on leur dit, voilà : nous on a développé une démarche qui est un peu singulière. Qui est innovante. Qui a consisté à explorer des milliers de possibilités pour votre futur aménagement. Et a essayé de rechercher parmi ces possibilités, laquelle se remarquait. Laquelle était un juste compromis entre des indicateurs de performance énergétique. Et ça c'est en quelque sorte l'assurance que on part sur de bonnes bases, et que le projet fait déjà en quelque sorte... Enfin il a déjà toutes les potentialités pour ensuite être sobre en énergies, être confortable, etc. Mais on est encore au stade de la forme urbaine. Et donc ça veut dire qu'après il y a plein de choses qu'on ne maîtrise pas encore. Ce que le projet après va se développer, les architectures vont venir en place, il y a une grande marge de manœuvre encore qui reste pur l'optimisation énergétique et le confort, etc. Il y a plein de dispositifs qu'on ne touche pas à cette échelle là encore. L'isolation des bâtiments ce n'est pas du tout regardé à ce niveau-là. Les systèmes, la stratégie d'approvisionnement énergétique, elle n'est pas forcément regardée par MESH.

LR : Est-ce que dans l'optique vous avez pour idée de pousser jusque-là MESH ?

AdIB : Alors MESH non, parce que le projet arrive à sa fin. Et c'était vraiment sur des morphologies le premier thème. Mais par contre, développer des outils qui puissent aussi intégrer des questions d'approvisionnement énergétique. Et aller plus loin, avec l'idée d'aller pousser,

enfin ça c'est l'idée de Francesco Cingolani qui nous avait, c'était un petit peu son dada au début, il nous l'avait répété plusieurs fois : le continuum numérique. C'est-à-dire l'idée d'avoir de la ville qui serait presque produite par des algorithmes de conception paramétrique. Aller jusqu'aux formes, des formes urbaines, aux bâtiments, jusqu'aux matériaux, etc., etc. Jusqu'à une impression 3D, sans s'arrêter et en restant toujours sur des outils assez similaires. Et avec le moins de pertes possible d'information entre les différents intervenants. C'est ça.

LR : Et vous faites vraiment tout avec Grasshopper pour l'instant, c'est ça ?

AdIB : Sur MESH ?

LR : Oui. Et si c'était à recommencer depuis le début, vous utiliseriez Grasshopper aussi ? Ou un autre logiciel, ou alors vous partiriez sur du java ou du Python, qui ne code pas pareil, mais après on peut toujours...

AdIB : Après grasshopper est quand même assez flexible dans ce sens-là. C'est-à-dire qu'il y a la possibilité d'avoir des codes. Mmh du code python du code python dans l'interface de grasshopper on peut faire pas mal de choses. On peut aussi faire appel à des programmes tierce. Donc heu de ce point de vue-là c'est assez pratique. Et on avait, on va dire, donc non on ne regrette pas ce choix parce que par rapport au développement d'une interface qui serait propre on aurait perdu vraiment trop de temps. Et ce n'était pas l'objet de notre recherche. On voulait plus se concentrer justement sur les perspectives opérationnelles. Et ce n'est pas notre cœur de métier d'être développeur de logiciels. Donc heu, en fait on aurait perdu trop de temps, je pense. Ça reste l'outil le plus flexible en fait, l'interface, rhino grasshopper. Dynamo il est vraiment très Revit. Après il y a d'autres trucs...je sais plus... je pourrais vous retrouver le nom peut être dû, du précurseur un peu de ce genre de programmation visuelle appliquée au design et à l'architecture. Il y a heu... un projet qui est développé par le laboratoire d'architecture, enfin de l'école d'architecture de Lyon, de l'ENSALyon, qui est écogène. Peut-être que vous connaissez. C'est de l'éco conception générative. Heu ils ont fait un état de l'art assez bien qui est disponible aussi en ligne. Par Xavier Marsaud. Et après il y a efficacité qui développe des choses un peu près similaires. À partir du moment où on ne veut pas vendre une solution. C'est-à-dire que Ecogène, là par exemple, eux, ils voulaient absolument breveter leur solution et l'avoir en propriétaire pour pouvoir la distribuer ensuite. Ce n'est pas notre cas. Après il y a des avantages aussi à avoir une plateforme qui est très personnalisée du coup, qui est vraiment spécifique pour eux, et qui fait uniquement ce qu'on veut qu'elle fasse. C'est un gain de temps aussi. Eux ils calculent des indicateurs beaucoup plus rapidement. Ils ont leurs algorithmes d'optimisation qui résolvent leurs problèmes. Et cela beaucoup plus efficacement qu'on ne pourrait le faire sur Grasshopper. Car mine de rien, il y a en fait des échanges qui ne sont pas forcément optimisés entre l'outil et ton processeur.

LR : Oui c'est sûr. D'ailleurs à ce niveau-là. Juste du point de vue du matériel, purement technique. Les ordinateurs avec vos algorithmes ils arrivent à suivre ? Ou vous avez des problèmes ?

AdIB : Non, non il n'y a pas de problème, car on ne leur demande pas de faire des trucs trop compliqués et puis si jamais il y a des problèmes on s'adapte. Et heu... Et bon là maintenant on utilise aussi des outils qui permettent de sur un même projet avec plusieurs ordinateurs en même temps. Donc, déléguer des tâches aux autres ordinateurs de l'agence. Mais là on est limité par le nombre de licences. Mais globalement là on pourrait faire tourner un cas d'optimisation sur cinq ordinateurs en parallèle.

LR : D'accord donc ce n'est pas du tout limitant la technologie pour vous actuellement.

AdIB : Enfin si, c'est sûr que si on avait des capacités de calcul multiplié par cent ou mille, on étudierait aussi d'autres choses. Là on se limite aussi dans certaines évaluations. On simplifie certains calculs pour justement prendre des hypothèses simplificatrices sur certains calculs parce qu'on ne peut pas calculer des choses qui sont trop couteuses. Exemple typique : lorsqu'on veut faire des études aérauliques, donc par CFD, c'est de la mécanique des fluides, pour regarder quels sont les écoulements autour des bâtiments, est-ce qu'il y a des phénomènes d'accélération ? Est-ce qu'il y a de l'inconfort lié à des mouvements turbulents ou des courants d'air par exemple ? Et ba calcul CFD c'est très très long. Pour une scène, donc pour une configuration urbaine, à l'échelle, on va dire, d'un petit quartier et douze directions de vent. Et ba là on va mettre, peut-être un jour de calcul quoi.

LR : 24h ou une journée de travail ?

AdIB : Ouais on va le faire tourner pendant la nuit, on va dire 14h de calculs. Sur un bon ordinateur, donc multicœur. Et donc ça c'est sur un ordinateur, mais c'est pour un scénario ! Donc il faut imaginer que maintenant on le fait sur mille, trois mille, dix mille scénarios, c'est impossible. Donc en fait ce genre de calcul on ne le fait pas, on ne peut pas le faire.

LR : D'accord. Je reviens sur le système de dialogue avec les urbanistes, avec les intervenants. Au départ de la discussion combien d'options de critères vous leur présentez ? Car n'en présenter qu'une c'est déjà faire un choix de votre part.

AdIB : Au départ on va leur présenter une option, on va leur présenter l'optimum de chacune des évaluations monocrétères. Lorsqu'on a fait du multicritère, on ne peut pas leur présenter une seule option. Paracercque, en quelque sorte ça dépend de la jauge qui a été fixée sur les autres critères, donc c'est pour ça qu'on est passé aussi au design explorer. Ça leur permettait, là on faisait une sélection déjà, on leur montrait uniquement le fond Pareto, donc c'est les deux cents meilleurs compromis on va dire. Et sur la base des deux cents meilleurs compromis qu'on graphe comme ça, ba l'avantage c'est qu'après il peut sélectionner, ou on peut l'aider à sélectionner, des seuils, et on va lui dire : ba on a intérêt à.... On alors on le fait en réunion. C'est à dire c'est vraiment le support d'une discussion. Et l'avantage de cet outil, je ne sais pas si vous connaissez. Sur design explorer lorsqu'on sélectionne une des formes on peut aussi la noter, on peut aussi ajouter un énième indicateur supplémentaire, qui serait l'évaluation qualitative. Donc elle me plait, elle ne me plait pas. Ou, celle-là je la mets coup de cœur ou pas. Et après si jamais il y en a eu dix, quinze, vingt qui ont été évalués de la même manière, avec coup de cœur ou pas par l'urbaniste. Et ba ça peut devenir un nouvel indicateur pour le filtre. Et on peut regarder aussi s'il y a des constantes parmi les vingt qui ont été coup de cœur par l'urbaniste. Est-ce qu'elle se rapproche en matière de vues sur la Seine ou pas ? Est-ce qu'elle maximise toutes les vues sur la Seine ? Ou est-ce qu'il y en a certaines qui les maximisent et d'autres qui les minimisent ? Donc en fait est-ce qu'il y a des constantes aussi morphologiques ? Quels sont les paramètres qui les guident ?

LR : Donc en fait ça c'est un peu comme créer un indicateur propre à l'urbaniste. Et ça du coup vous ne le réutilisez pas pour un projet du coup avec un autre urbaniste ?

AdIB : Non, non en effet.

LR : Par contre si vous êtes amené à travailler avec un autre urbaniste est-ce que vous réutiliseriez certains indicateurs ?

AdIB : ba alors ça, ça ne s'est jamais présenté. Mais ça serait intéressant, après il faut voir... ouais on n'est pas allé jusque-là. Du même style on aimerait bien mettre en plus. Enfin développer un outil qui fait à la fois de l'optimisation et de la visualisation. Qui s'appelle Biomorpher. Et celui-là il a l'avantage en fait de permettre, de sélectionner au fur et à mesure. De suivre en direct, de l'interrompre à un moment, et hop il lance peut-être dix formes qui sont, on va dire, les représentations clustérées des grandes variations possibles. Donc en gros si on a, on va dire, j'ai toute ma population. Et ba automatiquement et ba on peut, sur l'espace des paramètres, réaliser ce qu'on appelle des clusters, ce sont en fait des groupes, qui permettent, d'en fait plus on a de groupes plus c'est précis. Mais qui vont rassembler les éléments, les individus qui partagent soit des caractéristiques de performances soit des caractéristiques de paramètres. Donc soit c'est au niveau de la géométrie qu'ils partagent des aspects, soit c'est plutôt sur l'évaluation qu'ils vont partager des éléments communs. On prend les meilleurs de ceux-là, et on les présente sous la forme d'une grille. On a par exemple, j'en ai choisi quatre, et je les montre et à ce moment-là je demande à l'humain. Donc c'est aussi introduire de l'humain dans le processus d'optimisation. Ba lequel tu veux sélectionner, lequel t'intéresse le plus ? Si je sélectionne celui-là, à ce moment-là il retient, en fait, que c'est plutôt ces paramètres qui sont importants pour l'humain. Et du coup il va approfondir la recherche dans ça. Et à la prochaine étape, il va faire, en quelque sorte, un zoom là-dessus. Ce zoom ça va redevenir quelque chose qui est un peu comme ce qu'on avait avant, et à nouveau il va raffiner et il va avoir quatre clusters qui ont été construits sur cette population-là. Et donc les quatre forcément vont ressembler d'avantages à leurs parents, en quelque sorte. Et à ce moment-là on va continuer d'optimiser plutôt dans ce sens-là. Où on peut dire, au bout d'un moment, on était trop sélectif et si on était trop sélectif, à ce moment-là on a parfois envie de retrouver de la mutation, on a envie de retrouver de la variété dans la population. Et vont dire, non j'annule certains paramètres, et là on va ré élargir le champ pour retrouver, peut-être, un nouveau potentiel d'optimisation. Qui n'était pas envisagé à la base.

LR : Votre réponse me fait penser à plein de choses que j'ai vues là-dessus. Est-ce qu'à l'extrême, vous avez en tête un moment, ou vous avez pensé à développer quelque chose qui lit des plans ? En fait vous avez vos critères, ce logiciel va lire les plans pour analyser la disposition de projet déjà existant des critères que vous avez, pour justement faire cette sélection de l'humain à travers des projets déjà faits avant, ce qui permettrait d'avoir des critères personnalisés par la lecture d'ancien projet, qui puisse ensuite être appliqué au développement d'autre projet ?

AdIB : Alors, pour finir sur ce sujet je vous conseille de lire John Harding, qui écrit beaucoup de choses là-dessus, et puis après on peut passer à la suite. Sur l'optimisation de plan, alors, on a eu un autre stagiaire qui est venu, qui avait travaillé chez Efficacity. Et justement chez Efficacity il s'était intéressé à ce sujet-là. Donc comment à partir d'une forme d'emprise générale de mon bâtiment, et ba je vais réussir à le subdiviser en T1, T2, T5, T6. Où est-ce que je vais placer les cages d'escaliers, est-ce que je vais faire un couloir central, comment je vais placer mon noyau, où est-ce que je vais placer ma distribution verticale ou horizontale. Comment je vais placer mes pièces à l'intérieur de ces logements, pour optimiser l'espace, en quelque sorte. Et puis trouver les meilleurs accès à mes façades. Éventuellement mettre en configuration traversante. En fait c'est très basé sur la théorie des graphes ces machins-là. Et heu ils ne l'avaient pas encore vraiment basé sur des techniques d'apprentissage, comme vous le suggéré, c'est un peu ça ?

LR : oui, exactement.

AdIB : Je ne sais pas où ils en sont là-dedans. Efficacity, ils ont vraiment l'ambition de faire ça, ils ont beaucoup beaucoup plus de budgets que nous. Faut savoir que nous on est un petit bureau d'étude, donc on n'a pas d'énorme budget qui peuvent être alloué à la recherche. Efficacity, c'est un gros pôle de recherche. Et ils ont vraiment des budgets significatifs, ils ont beaucoup de sponsors. Et leur objectif c'était aussi d'avoir, pour des îlots, de passer de la forme urbaine, à des maquettes revit, et aller plus loin dans le revit en vraiment en faisant tous les plans, etc. C'est basé vraiment sur des algorithmes de théorie des graphes, ça s'appelle Mask c'est assez proche de testfit.

LR : OK très bien donc je pense que la plupart de mes questions ont trouvés réponse, donc c'est un bon début.

AdIB : Je ne sais pas si vous allez trouver des informations là-dessus sur internet, par contre j'ai une présentation sur l'ensemble des outils qui permettent de faire ça. Nous on ne l'utilise pas du tout, car en fait on n'est pas architecte.

LR : Oui c'est sur ce n'est pas le même niveau d'intervention.

AdIB : bon ça nous intéresserait c'est sûr, mais ce n'est, il y a déjà suffisamment de choses à faire. Mais bon à l'échelle urbaine il y a plein de projets qui ressemblent à MESH à ce niveau-là que vous pourriez regarder. Il y a le KPF Urban Interface, c'est un grand bureau d'étude américain. Il y a le Ramboll, c'est aussi un bureau d'étude qui fait plein de choses. Et ils ont un computational design group, et donc il faut regarder spécifiquement sur ce groupe-là. Après vous pouvez peut-être trouver des idées d'un truc qui est développé par l'ETH de Zurich, qui s'appelle smart Space analyser.

LR : Enfin dernière question, au moment de la genèse de tout le processus, quels étaient les âges des différents intervenants ? En ordre de grandeur.

AdIB : Les âges des intervenants ? Mais ceux qui ont vraiment recherché ou ceux qui ont initié le projet ?

LR : Ceux qui ont initié le projet.

AdIB : Ah ba Florian Dupont il doit avoir 30-35 ans, Francesco ça doit être plus 35-40, mais c'est pareil c'est 35 ans. Après les chercheurs avec qui on travaille du lab urbain, il y a un peu des deux. Il y a des gens assez jeunes 35 ans, plusieurs qui sont dans ce cas-là. Et puis il y en a qui sont un peu plus d'expérience dans ce cas-là. Denis Morand et Katia, je leur donnerais plus 45 ans. Après moi j'ai 29 ans, Rémi il en a 27. Ouais globalement c'est ça un peu l'équipe.

LR : bon ba parfait, j'ai déjà matière à exploiter maintenant là. Donc si j'ai d'autres questions je vous envoie un mail. Mais merci encore pour toutes ces précisions et votre temps.

AdIB : Il n'y a pas de quoi.

FIN DE L'INTERVIEW