

Faculté Polytechnique



Étude de l'impact de l'usage d'une application dotée d'IA dans le processus de conception architectural sur des bâtiments existants, auprès de jeunes diplômé·e·s et d'étudiant·e·s en architecture

Travail de fin d'études

Sévag WILLEMOT
Ingénieur Civil Architecte



Sous la direction de :
Madame Sarra KASRI (promotrice)
Monsieur Fabian LECRON (co-promoteur)
Juin 2024



Remerciements

Je tiens à exprimer ma plus profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail de fin d'études.

Tout d'abord, je remercie chaleureusement mes deux promoteurs, Madame Sarra Kasri et Monsieur Fabian Lecron, pour leur accompagnement, leurs conseils précieux et leur disponibilité. Leur expertise et leur soutien ont été déterminants dans l'aboutissement de ce projet.

Je souhaite également remercier ma famille pour leur encouragement constant.

À mes amis, merci pour votre aide précieuse et votre soutien moral. Vous avez été une source inestimable de motivation et d'encouragement tout au long de ce chemin.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à l'ensemble des professeurs pour la qualité de l'enseignement et pour m'avoir guidé tout au long de mon parcours académique. Vos enseignements et vos conseils ont été essentiels dans mon développement personnel et professionnel.

Je remercie également l'université pour les expériences enrichissantes qui m'ont été offertes au cours de ces années.

Je suis aussi très reconnaissant envers les communautés en ligne sur Reddit et GitHub, ainsi que les autres plateformes d'échange, sans oublier la vaste communauté scientifique, pour leur esprit de partage et d'innovation qui ont inspiré et soutenu mes recherches.

Enfin, je souhaite remercier toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à ce projet. Votre soutien et vos encouragements ont été une véritable source de motivation.

Merci à tous,

Sévag.

Abstract

Ce travail de fin d'études examine l'impact de l'intégration de l'intelligence artificielle (IA) dans le processus de conception architecturale, en se concentrant plus spécifiquement sur la rénovation des bâtiments existants. L'objectif principal est d'évaluer l'impact de l'usage de l'IA et de voir si, et comment, elle peut améliorer le processus de conception des architectes, en proposant d'enrichir les médiums de création, de conception et de négociation autour d'un projet d'architecture.

Pour répondre à cette question, une application spécifique a été développée et une méthodologie mixte a été adoptée, combinant des approches qualitatives et quantitatives. Les données ont été collectées à travers des études de cas, dont l'un des exemples notables est la restauration de la cathédrale Notre-Dame de Paris, qui a prouvé en 2019 la puissance de l'image comme médium pour enrichir les débats publics autour des doctrines de l'intervention sur le patrimoine à choisir. Des entretiens structurés avec des diplômés et étudiants en architecture ont été réalisés pour évaluer leur expérience avec l'application.

Les résultats montrent que l'utilisation de l'IA accélère considérablement la production d'idées dans le processus de conception, tout en favorisant une meilleure collaboration entre architectes et clients. Cependant, des défis subsistent, notamment en ce qui concerne la dépendance technologique et la sécurité des données.

En conclusion, cette recherche démontre les avantages potentiels de l'IA dans l'architecture, tout en soulignant la nécessité de solutions innovantes pour surmonter les défis associés. Les implications pour l'avenir incluent une adoption prudente de l'IA et des recherches supplémentaires pour explorer son impact à plus grande échelle sur le monde professionnel et son intégration dans les programmes éducatifs en architecture.

Mots clés : architecture, intelligence artificielle, croquis, image, médium, conception assistée, technologie, collaboration, expérimentation, étudiants, rénovation, innovation, LLM, GAN, BIM.

Table des matières

1. INTRODUCTION	7
2. ÉTAT DE L'ART	9
2.1. Aperçu de l'état de l'art	9
2.2. Quelques notions en architecture : art, technique et conception architecturale.....	10
2.2.1. Histoire de l'architecture	10
2.2.2. La conception architecturale	12
2.2.3. Les défis contemporains en architecture.....	13
2.2.4. Complexité et richesse des processus architecturaux contemporains	14
2.2.5. Synthèse.....	14
2.3. Technologie numérique et IA en architecture	15
2.3.1. Technologies numériques en architecture	15
2.3.2. Le rôle du BIM et d'autres outils numériques	17
2.3.3. Intelligence artificielle et architecture	17
2.3.4. L'IA au service de la conception en architecture	19
2.3.5. Architecture du bâti existant	21
2.3.6. Synthèse.....	21
2.4. La créativité	22
2.4.1. Les intelligences artificielles sont-elles créatives?	23
2.4.2. L'image comme médium de communication en architecture	24
2.4.3. Synthèse.....	26
2.5. Synthèse de l'état de l'art.....	27
3. MISE EN PRATIQUE	28
3.1. L'application	28
3.1.1. Présentation de l'application	28
3.1.2. Choix des technologies	31
3.1.3. Concepts intégrables dans l'application.....	36
3.1.4. Paramètres de génération implémentés dans l'application.....	39
3.2. Expérimentation.....	44
3.2.1. Objectif de l'expérimentation	44
3.2.2. Méthodologie de l'expérimentation	44
3.2.3. Collecte et analyse des données.....	46
3.3. Discussion des résultats.....	47
3.3.1. Analyse des fonctionnalités de l'application	47
3.3.2. Impact sur le processus créatif	49
3.3.3. Utilité dans la pratique architecturale.....	50
3.3.4. Autres constatations	51
3.3.5. Synthèse des résultats	52

4. CONCLUSION	55
5. BIBLIOGRAPHIE	57
6. ANNEXES.....	60
6.1. Fondements théoriques sur l'intelligence artificielle	60
6.1.1. Brève histoire de l'IA.....	60
6.1.2. Définitions clés et concepts.....	63
6.2. Arborescence du code	64
6.3. Choix des technologies.....	65
6.4. Données de base pour les expérimentations	68
6.5. Données des résultats	71

Table des figures

Figure 1 : Le dessin préliminaire de Frank Gehry pour le futur Walt Disney Concert Hall [Building an Icon: The Story of Walt Disney Concert Hall, https://www.laphil.com/about/watch-and-listen/building-an-icon-the-story-of-walt-disney-concert-hall]	16
Figure 2 : Représentation numérique du Walt Disney Concert Hall à Los Angeles, conçu par Frank Gehry [From Paper to Parametric Vectors, https://d3.harvard.edu/platform-rctom/submission/from-paper-to-parametric-vectors-gehrys-transformation-of-architectural-modeling].....	16
Figure 3: Un toit en serre pour Notre-Dame [Studio NAB, https://www.archdaily.com/915803/studio-nab-designs-a-greenhouse-roof-for-notre-dame].	25
Figure 4 : Hommage à Notre-Dame de Paris, vue intérieure [Miysis 3D Studio, https://notre-dame-paris.miysis.be]	25
Figure 5 : Proposition de piscine pour Notre-Dame de Paris [Ulf Mejergren Architects, https://www.u-m-a.se].....	25
Figure 6 : Parking à étages multiples [Rob Cross, https://twitter.com/RobCross247].....	25
Figure 7: Une rampe de lancement pour Notre-Dame de Paris [Sebastian Errazuriz, https://www.dezeen.com/2019/05/21/rocket-notre-dame-proposal-sebastian-errazuriz/].....	26
Figure 8 : Page « Generation-Settings » de l'application	29
Figure 9 : Page « Sketch-to-Image » de l'application	29
Figure 10 : Page « Account » de l'application	30
Figure 11 : Page « Home » de l'application	30
Figure 12 - Comparaison de 4 modèles de diffusion, respectivement SD 1.5, SD 2.1, SDXL et SD Cascade.....	32
Figure 13 : Comparaison croquis initial vs img2img vs ControlNet	33
Figure 14 : Exemple de conversion d'une image vers des lignes simplifiées	35
Figure 15 : Exemple de conversion d'une image vers des lignes simplifiées puis vers un croquis	35
Figure 16 : Exemple d'exportation d'une photo vers un modèle 3D	36
Figure 17 : Croquis servant de base pour les tests	40
Figure 18 : Comparaison de deux descriptions « small house, mountain » et « big house, beach »	40
Figure 19 : Comparaison de deux inspirations « Belgium, Mons » et « France, Paris ».....	40
Figure 20 : Comparaison de la génération à l'aide de deux images d'inspiration, une image de l'Atomium et une image de containers	41
Figure 21 : Comparaison des quatre saisons européennes, automne, hiver, printemps et été ..	41
Figure 22 : Comparaison de quatre « moments de la journée », pleine lune, nuit étoilée, aurore boréale et aube	41
Figure 23 : Comparaison : vue extérieure et vue intérieure	42
Figure 24 : Comparaison de la précision du dessin au minimum, 33%, 66% et au maximum	42
Figure 25 : Comparaison de la précision globale au minimum et au maximum avec le prompt « red small house, blue roof »	42
Figure 26 : Comparaison avec et sans l'option réemplois cochée	43
Figure 27 : Comparaison de l'attention apportée au budget au minimum et au maximum	43
Figure 28 : Comparaison de l'attention apportée à l'empreinte énergétique au minimum et au maximum.....	44

Figure 29 : Répartition des groupes au sein de l'expérimentation	47
Figure 30 : Répartition des utilisateur-riche-s au sein de l'expérimentation.....	47
Figure 31 : Changement de façade en bleu (avant/dessin/après)	48
Figure 32 : Ajout d'une véranda à une petite maison (avant/dessin/après)	49
Figure 33 : Bourse de Copenhague, ajout d'une sirène et changements radicaux par rapport à la flèche originelle	49
Figure 34 : Conversion du Beffroi de Mons en phare et ajout d'un dragon	50
Figure 35 : Ajout d'hélices sur le moulin de Blaton (avant/dessin/après).....	51
Figure 36 : Pourcentage du temps consacré pour générer la première, deuxième et troisième proposition.....	52
Figure 37 : Projet de reconstruction de Notre-Dame de Paris.....	54
Figure 38 : Notre-Dame de Paris, vue latérale [user21908677, https://www.freepik.com/premium-photo/notre-dame-cathedral-church-side-view-paris-france_12337924.htm].....	68
Figure 39 : Bourse de Copenhague [Dominique G, https://www.aloveyworld.com/danemark/htmfr/copenhague-bourse-clocher.htm]	69
Figure 40 : [Jean-Pol GRANDMONT, https://fr.wikipedia.org/wiki/Beffroi_de_Mons#/media/Fichier:0_Mons_-_Beffroi_(1).JPG]	69
Figure 41 : Tour de Pise [GETTY IMAGES VIA ISTOCK, https://www.nationalgeographic.fr/tourisme/la-tour-de-pise-est-en-train-de-se-redresser]....	70

1. Introduction

L'architecture, discipline riche de son héritage culturel, a constamment évolué, reflétant les aspirations, les innovations et les défis de chaque époque. Depuis les modestes abris des premiers hommes jusqu'aux tours vertigineuses de verre et d'acier qui ponctuent les horizons urbains, l'architecture a non seulement façonné nos environnements, mais a également servi de miroir à la progression de la civilisation humaine. La conception architecturale, au cœur de cette évolution, a toujours été étroitement liée aux outils et méthodes disponibles, reflétant un dialogue permanent entre imagination et faisabilité.

Après chaque conflit majeur, des villes se retrouvent confrontées à un paysage de désolation. Les guerres laissent derrière elles des bâtiments en ruines et des communautés dévastées. À cela s'ajoutent les catastrophes naturelles amplifiées par le réchauffement climatique. Sans parler de l'usure du temps et de la négligence qui augmentent encore le nombre de bâtiments nécessitant une rénovation. Reconstruire et rénover ces structures endommagées est devenu une nécessité urgente. Parallèlement, pour que l'UE atteigne ses objectifs climatiques de neutralité carbone d'ici 2050, le taux de rénovation doit être considérablement augmenté par rapport au niveau de 2024, qui est de seulement 1% par an (Thomas & López, 2015) (Anker, et al., 2018) (European Union, 2024).

L'intégration croissante de l'intelligence artificielle dans le domaine de l'architecture pourrait marquer le début d'une ère innovante en matière de création architecturale. En effet, l'intelligence artificielle ouvre de nouvelles perspectives grâce à son aptitude à analyser d'immenses quantités de données, se posant ainsi comme un catalyseur d'une collaboration enrichie et interactive entre architectes et clients. Toutefois, cette intégration soulève des questions quant à une dépendance accrue à la technologie, ainsi que des préoccupations liées à la sécurité des données et à l'uniformisation des designs. Dans le contexte actuel, qui pousse à revisiter et rénover les structures existantes plutôt que de construire du neuf, l'intelligence artificielle apparaît comme une alliée potentielle. Peut-elle faciliter le processus de conception architecturale, notamment dans le cadre de la rénovation? Comment les architectes perçoivent-ils l'intégration de ces outils IA novateurs, qui se distinguent des interfaces plus traditionnelles? Quel est l'impact de l'usage de l'intelligence artificielle sur le processus de conception, tant pour les diplômés que pour les étudiants en architecture?

Les hypothèses se basent sur un monde où le processus de conception architecturale serait renouvelé par l'intégration de l'IA, impliquant une transformation des méthodes de conception traditionnelles. Cela permettrait une gestion du temps de conception plus efficace, les architectes pouvant dialoguer en temps réel avec leurs clients en utilisant l'IA dans la production d'images comme medium qui enrichirait le processus coopératif de conception. Parmi les prouesses rendues possibles par l'IA, la conversion d'un croquis en image, en quelques secondes, illustrerait la vitesse et l'efficacité avec lesquelles les idées pourraient être concrétisées et proposées aux clients.

L'IA réinventerait également la collaboration entre architectes et clients. La possibilité de modifier facilement les éléments d'un design introduirait un degré d'interaction et de personnalisation sans précédent. Cette approche favoriserait une conception collaborative où les idées pourraient

être explorées et ajustées en temps réel, assurant que les projets reflètent fidèlement les attentes des clients.

Ce travail de fin d'études se positionne à l'intersection entre le domaine de l'architecture et celui de l'IA, explorant l'impact de l'usage d'une application dotée d'IA spécifiquement conçue. L'objectif principal est d'analyser l'accueil et les répercussions de l'intégration de cette technologie chez les diplômé·e·s et les étudiant·e·s en architecture. La recherche s'appuie sur des contributions académiques et professionnelles, ainsi que sur des ouvrages de référence liés à l'emploi de l'IA et à l'architecture en général.

La méthodologie repose sur des essais pratiques impliquant des diplômé·e·s et étudiant·e·s en architecture, utilisant l'application sur des cas de figure spécialement élaborés. La collecte des données s'effectuera par sondages, interviews, et observations directes, suivis d'une analyse qualitative et quantitative pour dégager les bénéfices, défis et opportunités de l'IA.

En utilisant des outils d'IA pour la collecte et la synthèse d'informations pertinentes, ce travail montre la place croissante de l'IA dans le développement des connaissances académiques.

Il est important de souligner que ce travail se concentre sur des applications technologiques spécifiques de l'IA appliquées à l'image comme médium dans le processus de conception architecturale. Cette étude n'englobe donc pas toutes les dimensions possibles de l'architecture. De plus, une étude future pourrait inclure un plus grand nombre de participants et des tests prolongés pour évaluer pleinement le potentiel de l'application.

En explorant les perceptions et l'impact de l'usage de l'IA sur un aspect de la conception architecturale, cette recherche apporte une contribution à la compréhension de l'évolution technologique dans ce domaine et à l'élaboration de stratégies pour intégrer ces innovations de manière bénéfique et durable.

2. État de l'art

Dans le cadre de ce travail de fin d'études, l'état de l'art occupe une place prépondérante en permettant de dresser un panorama des recherches antérieures, des théories, mais aussi des pratiques prévalant du champ d'études concerné. Ce processus est crucial pour identifier les vides existants et pour souligner l'importance de la contribution proposée.

D'un autre côté, l'état actuel des connaissances ne se limite pas à présenter les accomplissements antécédents, mais il encourage aussi l'innovation en illuminant un éventail d'idées et de stratégies qui peuvent agir comme un stimulateur pour des démarches inventives. En examinant les études précédentes et en soulignant les manquements, il positionne le projet comme une solution pertinente aux exigences non satisfaites du champ, augmentant de ce fait son potentiel d'influence et son apport à la progression du savoir.

Pour un potentiel lecteur, cet état de l'art s'avère également intéressant. Lui offrant un résumé des développements actuels et historiques dans le domaine, permettant ainsi de saisir rapidement les enjeux et les progrès réalisés jusqu'à présent.

2.1. Aperçu de l'état de l'art

Cet état de l'art explore les croisements entre la technologie numérique et l'architecture, en détaillant l'influence théorique et les progrès technologiques sur la pratique architecturale actuelle et future. Il commence par retracer l'évolution de l'architecture, mettant en lumière les principes fondamentaux, les évolutions historiques et les défis contemporains, en s'appuyant sur des théories et des figures clés. Cette base théorique est essentielle pour comprendre les changements apportés par les avancées technologiques dans le domaine.

Ensuite, l'étude examine l'intégration des technologies numériques et de l'intelligence artificielle dans les processus architecturaux, de la conception à la réalisation des projets. Il met en évidence comment des outils comme le Building Information Modeling (BIM) et les logiciels de conception assistée par ordinateur ont transformé la pratique architecturale, tout en ouvrant le débat sur les futurs défis et innovations possibles que l'IA pourrait apporter.

L'analyse se poursuit en se penchant sur la créativité, en particulier l'impact de l'IA sur les méthodes de travail des architectes et la conception générative. Cette section questionne également la collaboration future entre humains et machines.

Enfin, une synthèse des points abordés souligne comment les avancées technologiques peuvent être intégrées de manière cohérente et bénéfique dans la pratique architecturale, tout en préservant l'importance des méthodes traditionnelles.

2.2. Quelques notions en architecture : art, technique et conception architecturale

Il est nécessaire d'établir une base solide pour la compréhension des concepts clés qui sous-tendent la discipline architecturale. En abordant les différents aspects de l'architecture, cette section permet de mieux appréhender les principes fondamentaux, les évolutions historiques et les défis contemporains de la profession. Cette section est essentielle, car elle offre un cadre théorique et historique indispensable pour contextualiser les innovations et les pratiques actuelles en architecture.

2.2.1. Histoire de l'architecture

Pour commencer, ce chapitre explore comment les évolutions des technologies et des idéaux culturels ont façonné la discipline architecturale à travers les âges. En se référant principalement à l'analyse proposée par Sigfried Giedion dans « Space, Time and Architecture » (Giedion, 1954), il est possible de tracer une ligne continue d'adaptations qui reflètent les réponses architecturales aux besoins et défis de leur temps.

L'évolution de l'architecture, de ses formes primitives à ses manifestations contemporaines, reflète une série d'adaptations aux technologies et aux idéaux culturels de chaque époque. Sigfried Giedion explore cette progression qui montre comment les innovations technologiques et les changements de perception sociale ont influencé la conception architecturale.

Pour examiner l'architecture moderne, il est essentiel de comprendre l'impact des précurseurs du XIXe siècle, tels que John Ruskin et Eugène Viollet-le-Duc. Ces théoriciens ont prôné un retour à des méthodes de construction authentiques et une honnêteté dans l'utilisation des matériaux, des idées qui ont été reprises et transformées par les architectes modernistes. Viollet-le-Duc, par exemple, a influencé des figures comme Antoni Gaudí, dont les œuvres emblématiques à Barcelone, telles que la Sagrada Família, incarnent une synthèse unique de tradition et d'innovation.

L'industrialisation du XIXe siècle a introduit de nouvelles techniques de production et la disponibilité de matériaux comme le fer et le verre, conduisant à des réalisations architecturales audacieuses telles que le Crystal Palace de Joseph Paxton. Ce bâtiment, conçu pour la grande exposition de 1851 à Londres, symbolise l'esprit d'innovation de l'époque victorienne et a jeté les bases des développements futurs en matière de construction en verre et en métal.

La transformation du style beaux-arts vers les approches modernistes symbolise une réponse aux nouvelles technologies et matériaux disponibles. Cette période marque une phase où l'architecture commence véritablement à incorporer l'espace, le temps et la dimension humaine dans sa conception. Par exemple, le développement de matériaux tels que l'acier et le béton armé a permis de créer des structures plus audacieuses et innovantes, avec des formes autrefois inimaginables.

Les crises du XXe siècle, notamment les guerres mondiales et la grande dépression, ont poussé les architectes à reconsidérer le rôle de l'architecture dans la société. Ces périodes de turbulence ont entraîné une réflexion sur le besoin d'une architecture qui répond non seulement aux besoins fonctionnels, mais aussi aux aspirations sociales et culturelles. Le Bauhaus, par exemple, a cherché à harmoniser l'art et la technologie, favorisant une approche de la conception qui intègre fonctionnalité, esthétique et industrialisation.

L'importance de la relation entre l'espace et le temps se manifeste, selon Giedion, dans l'architecture moderne par l'utilisation de nouvelles techniques de construction et les innovations technologiques. Les grandes façades vitrées et les espaces ouverts des bâtiments modernistes renvoient une compréhension nouvelle de la transparence et de la fluidité de l'espace. Ces innovations ont aussi changé la manière dont les individus interagissent avec leur environnement.

De plus, l'influence de l'architecture japonaise, avec son intégration harmonieuse de l'intérieur et de l'extérieur et son utilisation inventive des matériaux naturels, a eu une influence sur les architectes occidentaux. Celle-ci se manifeste dans des œuvres telles que la Maison de thé Katsura, qui a inspiré des architectes modernistes comme Le Corbusier et Frank Lloyd Wright. Giedion reconnaît l'importance de ces échanges culturels dans l'enrichissement de l'architecture moderne.

L'intégration de l'art dans l'architecture moderne est également soulignée par Giedion. Il explore comment les mouvements artistiques de l'époque, tels que le cubisme, le futurisme et le constructivisme, ont influencé la forme et l'esthétique des bâtiments. Des architectes comme Le Corbusier ont embrassé ces influences artistiques pour créer des œuvres qui dépassent la simple fonction utilitaire et deviennent des expressions artistiques en elles-mêmes. Le concept de « maison machine » de Le Corbusier, par exemple, incarne une vision où l'efficacité fonctionnelle est en parfaite harmonie avec l'esthétique moderne.

L'évolution de l'architecture au XXe siècle est également marquée par une quête de transparence et de légèreté. Les bâtiments modernistes, avec leurs façades en verre et leurs structures en acier, cherchent à effacer les frontières entre l'intérieur et l'extérieur, créant des espaces ouverts et lumineux qui reflètent les idéaux de liberté et de progrès. Cette approche est illustrée par des œuvres comme la villa Savoye de Le Corbusier, qui incarne les principes de l'architecture moderne avec son plan libre, sa façade en verre et ses pilotis.

La standardisation et la préfabrication dans l'architecture moderne ont permis de construire plus rapidement et à moindre coût, rendant l'architecture moderne accessible à un plus grand nombre de personnes. Des projets comme les logements sociaux de la cité radieuse à Marseille démontrent comment ces innovations ont été mises en pratique pour répondre aux besoins croissants de logement dans l'après-guerre.

Enfin, les avancées technologiques contemporaines continuent d'influencer l'architecture. Les nouvelles technologies, telles que l'informatique et les matériaux composites, ouvrent des possibilités inédites pour les architectes. Ces innovations permettent de concevoir des bâtiments plus durables, plus efficaces sur le plan énergétique et plus adaptés aux besoins changeants de la société.

Ce cadre théorique et historique est essentiel pour comprendre comment les innovations et les pratiques actuelles s'inscrivent dans un continuum de l'évolution architecturale. Giedion montre

que l'architecture ne se contente pas de fournir une réponse aux besoins fonctionnels, mais qu'elle est également un reflet des transformations culturelles et technologiques de la société.

2.2.2. La conception architecturale

Après avoir exploré l'évolution historique de l'architecture et vu comment les technologies et les idéaux culturels ont influencé cette discipline avec l'analyse de Sigfried Giedion, il faut se pencher sur le processus de conception architecturale. Tandis que Giedion met en lumière les transformations culturelles, technologiques et leur impact sur l'architecture, Francis Ching se concentre davantage sur les aspects pratiques et techniques du processus de conception. La transition vers l'analyse de Ching permet de comprendre comment les idées abstraites se transforment en réalisations concrètes.

Dans « Architecture: Form, Space, and Order » de Francis Ching (Ching, 2014), il est souligné que ce processus implique une manipulation habile de l'espace, des formes et des éléments architecturaux pour répondre à des besoins fonctionnels, esthétiques et symboliques.

Le processus de conception débute souvent par une phase de conceptualisation où les architectes explorent diverses idées et solutions potentielles. Cette étape est caractérisée par l'utilisation de croquis, de maquettes et d'outils numériques pour visualiser et évaluer différentes options. Ching insiste sur l'importance de la créativité et de l'innovation durant cette phase, où les idées commencent à prendre une forme tangible.

La phase suivante, le développement du design, transforme ces concepts initiaux en plans détaillés. Cela implique la création de plans, de coupes, d'élévations et de perspectives, ainsi que la sélection des matériaux, des systèmes structurels et des méthodes de construction.

Lors de la phase de construction, le projet prend forme physiquement. Les architectes supervisent les travaux pour s'assurer que la construction respecte les plans et spécifications. Cette phase garantit que le produit final reflète la vision initiale tout en répondant aux normes de qualité et de sécurité.

Ching identifie plusieurs principes qui guident la conception architecturale. L'unité et la cohérence assurent que tous les éléments d'un bâtiment travaillent ensemble pour créer une composition harmonieuse. La proportion et l'échelle concernent les relations entre les différentes parties d'un bâtiment et leur relation avec l'ensemble, souvent dictées par des considérations esthétiques et fonctionnelles. L'équilibre, qu'il soit symétrique ou asymétrique, distribue visuellement les éléments pour créer une sensation de stabilité et de dynamisme. Le rythme est créé par la répétition régulière de formes ou de motifs, guidant le mouvement à travers un espace et accentuant certaines parties du bâtiment. Enfin, la hiérarchie indique l'importance relative des éléments dans un design, où les éléments plus importants sont souvent plus grands ou plus élaborés.

Ching souligne également l'aspect collaboratif de la conception architecturale. Ce processus engage divers acteurs, y compris les clients, les ingénieurs et les consultants, chacun apportant une perspective qui enrichit le projet. La réussite d'un projet architectural repose donc sur une communication efficace et une intégration harmonieuse des contributions de tous les participants.

En conclusion, selon Francis Ching, la conception architecturale exige une combinaison d'innovation créative, de rigueur technique et de collaboration pour créer des espaces qui répondent aux besoins fonctionnels, esthétiques et symboliques des utilisateurs.

2.2.3. Les défis contemporains en architecture

Après avoir examiné le processus de conception architecturale tel que décrit par Francis Ching, il est maintenant pertinent de se pencher sur les défis contemporains auxquels la discipline est confrontée. Ces défis reflètent les préoccupations sociétales et environnementales actuelles et exigent des solutions innovantes et intégrées pour répondre efficacement aux besoins d'un monde en rapide évolution. Ce chapitre explore les principaux défis que rencontrent aujourd'hui les architectes et les moyens par lesquels ils tentent de les surmonter.

L'un des plus grands défis pour l'architecture contemporaine est de concevoir des bâtiments et des environnements urbains durables. Cela implique l'intégration de pratiques de conception écologique et l'utilisation de technologies pour réduire l'empreinte carbone des bâtiments, améliorer l'efficacité énergétique et promouvoir l'utilisation de matériaux renouvelables et de systèmes de gestion de l'eau. La sensibilisation à l'importance des bâtiments dans la crise climatique actuelle souligne la nécessité d'une éducation environnementale renforcée pour les architectes et les concepteurs (Altomonte, 2009).

La conception architecturale doit également répondre aux besoins de l'intégration sociale et de l'accessibilité pour tous. Cela implique la création d'espaces qui favorisent l'inclusion, soutiennent la diversité et offrent un accès équitable aux personnes de toutes capacités. Les défis comprennent la conception de bâtiments et de communautés qui répondent aux besoins variés de la population tout en favorisant le bien-être et l'interaction sociale (Martek, et al., 2018).

Une autre perspective pertinente pour comprendre les défis contemporains en architecture est celle proposée par Latour et Yaneva. Ils suggèrent de voir les bâtiments non pas comme des entités fixes et statiques, mais comme des structures évolutives et flexibles. Selon eux, cette vision permet de mieux répondre aux besoins changeants de la société en concevant des bâtiments capables de s'adapter à diverses transformations au fil du temps. Les bâtiments évolutifs sont conçus pour être réactifs, permettant des modifications et des réajustements en fonction des nouvelles exigences, qu'elles soient fonctionnelles, environnementales ou technologiques. Cela implique une approche de la conception qui privilégie la modularité, la flexibilité des espaces et l'utilisation de matériaux et de technologies permettant une adaptation continue (Yaneva & Latour, 2008).

La Théorie de l'Actor-Network (ANT) éclaire de manière pertinente les interactions entre les différents acteurs du processus architectural. En s'appuyant sur des études de cas comme celle de l'extension du Whitney Museum, cette approche met en exergue le rôle actif joué par chaque composant, qu'il soit humain ou matériel. Les matériaux, technologies et réglementations, entre autres, sont considérés comme des acteurs à part entière, participant à un réseau d'influences réciproques qui façonne l'issue du projet. Cette perspective enrichit notre compréhension de l'architecture non plus comme un acte unilatéral de conception, mais comme une orchestration complexe où chaque élément contribue au dialogue créatif (Yaneva, 2009).

Ces défis soulignent la complexité de la conception architecturale contemporaine, qui doit équilibrer les considérations esthétiques, fonctionnelles, sociales et environnementales.

2.2.4. Complexité et richesse des processus architecturaux contemporains

Après avoir examiné les défis contemporains de l'architecture, il est important de comprendre comment la complexité et la diversité des processus architecturaux modernes permettent de répondre à ces défis.

La pluralité des processus en architecture révèle la diversité des approches dans le domaine. L'analyse des diverses tentatives de rénovation du Whitney Museum démontre comment différentes perspectives peuvent coexister au sein d'un même projet. Cette diversité est cruciale pour répondre aux défis contemporains de l'architecture, soulignant comment la discipline se nourrit d'un éventail de visions et de compétences qui se croisent et se complètent, contribuant ainsi à l'évolution constante de nos espaces de vie (Yaneva, 2009).

L'architecture moderne, par sa capacité à intégrer l'innovation et l'adaptabilité, témoigne de l'évolution rapide du paysage urbain et de nos besoins en constante mutation. Les architectes contemporains ne se contentent pas de suivre des normes établies ; ils les remettent en question et les réinventent. Cette approche flexible permet de concevoir des bâtiments qui ne répondent pas seulement aux exigences fonctionnelles et esthétiques actuelles, mais qui sont également capables de s'adapter aux futurs changements d'utilisation ou d'exigences environnementales (Magdziak, 2019).

2.2.5. Synthèse

Ce travail sur les notions en architecture a été réalisé avec l'objectif de fournir une compréhension des principes et évolutions qui sous-tendent cette discipline complexe. En parcourant l'histoire de l'architecture, en examinant ses principes fondamentaux, en explorant les défis contemporains et en analysant la richesse des processus architecturaux modernes, il est possible de saisir l'ampleur et la profondeur de cette discipline.

En commençant par l'exploration de l'histoire architecturale, marquée par des figures telles que Sigfried Giedion, ce travail montre les adaptations continues de l'architecture face aux innovations technologiques et aux changements culturels. Ce regard historique, complété par les contributions de John Ruskin et Eugène Viollet-le-Duc, qui ont prôné l'authenticité des méthodes de construction et influencé des architectes tels qu'Antoni Gaudí, permet de comprendre comment les évolutions du passé façonnent encore les pratiques actuelles. Cette perspective historique enrichit la compréhension des enjeux actuels et futurs de l'architecture, en établissant une base solide pour l'intégration des nouvelles technologies.

La période moderniste a été particulièrement transformative avec l'introduction de matériaux comme le fer, le verre et le béton armé, illustrés par des réalisations emblématiques telles que le Crystal Palace de Joseph Paxton et la villa Savoye de Le Corbusier. Ces innovations ont permis de repousser les limites de la conception architecturale en intégrant des aspects de transparence et de légèreté. En étudiant ces transformations, on peut mieux appréhender comment les

innovations technologiques contemporaines continuent à influencer et redéfinir les pratiques architecturales.

Francis Ching, quant à lui, fournit une analyse des principes fondamentaux de la conception architecturale. Il met l'accent sur l'unité, la proportion, l'équilibre, le rythme et la hiérarchie, soulignant l'importance d'une approche holistique qui intègre à la fois la créativité et la rigueur technique. La compréhension de ces principes est essentielle pour l'intégration réussie des nouvelles technologies et méthodes de conception qui seront explorées dans les chapitres suivants.

La complexité et la diversité des processus architecturaux modernes sont illustrées par les travaux de Yaneva, qui examine l'orchestration complexe des divers acteurs et éléments dans un projet architectural. L'analyse de projets tels que la rénovation du Whitney Museum démontre la cohabitation de différentes perspectives et compétences, contribuant à l'évolution constante des espaces de vie. Cette approche met en évidence la nécessité d'une coordination continue et d'une adaptation flexible, cruciales pour l'intégration des technologies numériques et de l'intelligence artificielle dans l'architecture moderne.

En synthétisant ces notions, cela permet de mieux comprendre comment les avancées peuvent être intégrées de manière cohérente et bénéfique dans la pratique architecturale. Les chapitres suivants s'appuieront sur cette base pour explorer l'impact de la technologie numérique et de l'intelligence artificielle, montrant les opportunités et défis associés à leur intégration dans le domaine architectural. Cette continuité est essentielle pour naviguer dans les nouvelles possibilités offertes par ces technologies et pour promouvoir une architecture innovante et durable.

2.3. Technologie numérique et IA en architecture

Ce travail de fin d'études se poursuit par une exploration des technologies numériques et de l'intelligence artificielle appliquées à l'architecture. Après avoir posé les bases théoriques et historiques de la discipline architecturale, il est logique d'examiner comment ces innovations technologiques transforment concrètement la pratique architecturale contemporaine.

Les architectes, autrefois limités aux croquis et maquettes physiques, exploitent aujourd'hui des simulations numériques et des rendus en 3D. Ce changement de médium ne s'est pas seulement traduit par une amélioration de la précision des projets, mais a aussi ouvert la porte à une exploration conceptuelle plus riche, permettant une interaction plus approfondie et flexible avec les clients et autres parties prenantes, enrichissant ainsi le processus de conception architecturale (Yaneva, 2009). Le passage d'un médium à un autre dans la pratique architecturale illustre l'évolution des outils de conception.

2.3.1. Technologies numériques en architecture

Ce chapitre explore les technologies numériques appliquées à l'architecture, en se concentrant sur leur impact sur les méthodes de conception, de planification et de réalisation des projets

architecturaux. Les technologies numériques ont transformé presque chaque aspect de l'architecture, de la conception à la réalisation des projets. Un exemple emblématique de cette transformation est l'utilisation de logiciels de conception avancés par l'architecte Frank Gehry.

Frank Gehry a été un pionnier dans l'intégration de logiciels comme CATIA et Digital Project, initialement développés pour l'industrie aéronautique par Dassault Systèmes. Grâce à ces outils, Gehry a pu repousser les limites traditionnelles de la conception architecturale, permettant la réalisation de formes géométriques complexes et innovantes, telles que celles du Musée Guggenheim de Bilbao et du Walt Disney Concert Hall (Gehry & Cohen, 2003).



Figure 1 : Le dessin préliminaire de Frank Gehry pour le futur Walt Disney Concert Hall [Building an Icon: The Story of Walt Disney Concert Hall, <https://www.laphil.com/about/watch-and-listen/building-an-icon-the-story-of-walt-disney-concert-hall>]

En adoptant ces technologies, Gehry a non seulement pu améliorer la précision et l'efficacité de ses projets, mais aussi redéfinir les possibilités créatives en architecture. Les logiciels comme Digital Project permettent une conception paramétrique et une gestion des données de construction très précises, facilitant la collaboration et l'optimisation des ressources tout au long du processus de conception et de construction. Cette approche innovante a ouvert la voie à de nouvelles façons de penser et de réaliser l'architecture, influençant de nombreux architectes et professionnels du secteur.

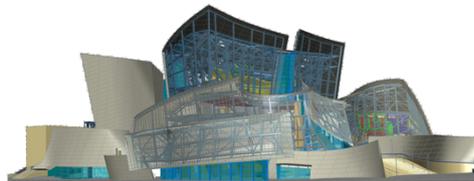


Figure 2 : Représentation numérique du Walt Disney Concert Hall à Los Angeles, conçu par Frank Gehry [From Paper to Parametric Vectors, <https://d3.harvard.edu/platform-rctom/submission/from-paper-to-parametric-vectors-gehrys-transformation-of-architectural-modeling>]

L'œuvre de Gehry démontre comment les technologies numériques peuvent transformer la manière dont les architectes envisagent et créent leurs projets. Ses réalisations illustrent l'impact que ces technologies ont eu sur l'architecture contemporaine, en permettant une liberté de création sans précédent et en optimisant les processus de construction.

Son approche a été particulièrement marquée par sa capacité à utiliser ces technologies pour traduire des concepts abstraits en structures tangibles. Le Musée Guggenheim de Bilbao et le Walt Disney Concert Hall sont des exemples parfaits de cette synergie entre technologie et art architectural, témoignant de la vision révolutionnaire de Frank Gehry.

2.3.2. Le rôle du BIM et d'autres outils numériques

Les avancées technologiques initiées par des pionniers comme Frank Gehry ont préparé le terrain pour des innovations plus récentes, telles que le Building Information Modeling (BIM). Le BIM offre une visualisation architecturale en 3D et un moyen standardisé de partager des informations sur le bâtiment dans les divers corps de métier.

Cette méthodologie permet de révolutionner la conception, la construction, et même la gestion post-construction des installations bâties. L'intégration de BIM dans le processus de création des bâtiments modernes change la manière dont les équipes de construction opèrent, les processus à travers lesquels les conceptions sont développées, et les relations entre les phases conceptuelles, détaillées, de construction et de cycle de vie (Zhang, et al., 2015). Des logiciels spécialisés comme Graphisoft Archicad, Autodesk Revit Architecture, et Nemetschek Allplan Architecture, entre autres, sont recommandés pour la modélisation, l'analyse et la conception des bâtiments. Ces outils facilitent non seulement le travail d'équipe dans la conception, mais augmentent également la performance de la conception (Onur & Nouban, 2019) (Borrmann, et al., 2018).

D'autres outils numériques comme les logiciels de programmation visuelle et les plateformes de gestion de données permettent une approche plus holistique et intégrée de la conception architecturale. Cette convergence technologique diminue les barrières entre les disciplines techniques et offre un cadre d'interopérabilité qui favorise un modèle synthétique intelligent de l'environnement urbain entier (Biancardo, et al., 2020).

Tous ces outils permettent non seulement d'optimiser la collaboration et la gestion des informations au sein des équipes de projet, mais aussi d'améliorer les performances énergétiques et environnementales des bâtiments dès la phase de conception. Toutefois, le but de ce travail de fin d'études n'est pas de se focaliser exclusivement sur ces technologies déjà bien implantées.

C'est dans cette optique que l'intelligence artificielle intervient. Bien qu'elle ne constitue pas une solution miracle, l'IA représente potentiellement la prochaine étape logique dans l'évolution de l'innovation architecturale. Elle offre des perspectives pour la conception, la planification et la réalisation des projets architecturaux.

2.3.3. Intelligence artificielle et architecture

L'architecture, discipline millénaire, traverse une phase de transformation avec l'intégration de l'intelligence artificielle. Cette évolution affecte la manière de concevoir, construire et interagir avec nos espaces de vie et de travail. Ce chapitre examine les différentes applications de l'intelligence artificielle dans le domaine de l'architecture et en analyse les implications futures.

Pour commencer, l'utilisation de l'intelligence artificielle en architecture n'est pas récente. Dès les années 1980, des chercheurs exploraient déjà les possibilités offertes par l'IA pour améliorer la conception et la planification architecturales. Par exemple, l'article « An Architecture for Application of Artificial Intelligence to Design » de Dixon, Simmons et Cohen (1984) présentait une architecture mettant l'accent sur l'évaluation et la refonte des conceptions, illustrant ainsi l'usage

précoce de l'IA dans ce domaine (Dixon, et al., 1984). Ces premiers travaux démontrent que l'IA a été intégrée dans le processus de conception architecturale bien avant les récents développements technologiques.

Aujourd'hui, l'automatisation des tâches répétitives par l'IA permet une accélération notable du processus de conception. Des logiciels comme Autodesk Revit sont en première ligne de cette transformation. Grâce à l'IA, Autodesk Revit automatise la création de plans d'étage, de sections et de façades à partir d'un modèle 3D, réduisant ainsi le temps et les efforts nécessaires à ces tâches et permettant aux architectes de se concentrer sur des aspects plus créatifs de leurs projets (Ji, 2022).

L'IA joue également un rôle dans la génération de variantes de conception, permettant aux architectes d'explorer un large éventail d'options en un temps record. Spacemaker AI, par exemple, utilise l'IA pour générer des milliers de variantes d'une conception architecturale. Cela permet d'optimiser les propositions en fonction des paramètres définis par les concepteurs. Cette capacité à explorer rapidement diverses options aide à identifier la solution la plus adaptée à chaque projet spécifique (Harapan, et al., 2021).

Il est également important de souligner la montée en puissance de l'intelligence artificielle en tant qu'outil favorisant la durabilité environnementale. Cette évolution, bien que prometteuse, s'accompagne de défis, tels que la dépendance excessive aux données historiques, l'incertitude liée aux comportements humains, les menaces accrues en matière de cybersécurité, et les conséquences potentiellement néfastes des applications de l'IA. Il est donc suggéré de diriger les recherches vers une approche intégrant divers aspects, en utilisant des techniques d'analyse systémique, de pensée design, ainsi que des études psychologiques, sociologiques et économiques. L'objectif est de développer des techniques d'intelligence artificielle qui promeuvent la protection de l'environnement (Nishant, et al., 2020).

Ensuite, l'apparition de modèles fondamentaux tels que BERT, DALL-E, et GPT-3 bénéficient d'un entraînement sur de grandes quantités de données et présentent une flexibilité pour une variété d'usages. Ces modèles ouvrent la voie à des possibilités comme l'analyse et la génération de textes, la création d'images à partir de descriptions et contribuent à la standardisation de ces technologies. Cependant il est nécessaire d'exercer une vigilance pour prévenir la duplication des lacunes inhérentes au modèle original dans les adaptations subséquentes. Une approche collaborative et pluridisciplinaire est indispensable pour analyser et juger ces modèles (Bommasani, et al., 2021).

Dans le même esprit d'innovation, les GANs (Generative Adversarial Networks) représentent une avancée notable en deep learning grâce à leur capacité à synthétiser des designs. Malgré une application encore limitée en architecture, ces IA montrent un potentiel certain pour la création et l'analyse de designs 2D et 3D, spécifiques à divers styles architecturaux. Les résultats expérimentaux montrent comment le choix des données d'entraînement peut influencer la fidélité et la diversité des designs générés (Newton, 2019).

L'intégration des GANs dans le domaine de l'architecture, particulièrement durant les phases créatives du design, ouvre des perspectives prometteuses. En effet, l'interaction entre les intelligences humaine et artificielle permet la génération de designs innovants, culturellement et architecturalement significatifs. Cette approche hybride souligne l'importance de combiner l'expertise humaine avec les capacités de l'IA pour optimiser l'efficacité des processus créatifs (Huang, et al., 2021).

D'autre part, les Large Language Models (LLMs), grâce à leur capacité à comprendre et générer du langage naturel, pourraient jouer un rôle dans l'interprétation des présentations de projet et la génération de spécifications de conception initiales. Une étude récente met en lumière les capacités remarquables des LLMs dans le traitement du langage naturel, suggérant que ces modèles pourraient être adaptés pour interpréter les exigences des clients exprimées en langage naturel et générer des descriptions techniques ou des idées de conception préliminaires en architecture (Naveed, et al., 2023).

Mais suite à toutes ces avancées, Lin et Xu explorent la pression ressentie par les humains face à la concurrence des machines dans l'industrie architecturale, se demandant si l'IA remplacera la main-d'œuvre humaine. À travers des entretiens semi-structurés avec des architectes et d'autres professionnels, l'étude propose un modèle d'acceptation technologique étendu pour les architectes IA, mettant en évidence l'importance de la diversité des domaines spécialisés et de la flexibilité contrôlable. Cette recherche souligne le potentiel de l'IA pour compléter plutôt que remplacer l'intelligence humaine, en insistant sur l'importance de l'intelligence émotionnelle humaine et d'un mode de complémentarité (Lin & Xu, 2021).

Les interactions humaines et la conception adaptative sont au cœur de l'intégration de l'IA en architecture. L'IA offre des outils pour analyser comment les espaces influencent le comportement humain et le bien-être, permettant la création d'espaces qui s'adaptent aux besoins émotionnels et psychologiques des individus. Des recherches soulignent un intérêt grandissant pour le croisement entre les neurosciences et l'architecture, offrant des perspectives inspirées de la biologie pour créer des espaces qui favorisent le bien-être des personnes (Coburn, et al., 2017).

Enfin, l'IA joue un rôle dans la compréhension et l'intégration d'éléments culturels dans la conception architecturale. Elle permet une approche plus inclusive et respectueuse des diversités culturelles. Cela est illustré par la recherche sur les systèmes d'intelligence artificielle immunitaire, qui, bien qu'à première vue éloignée de l'architecture, met en avant l'importance de l'approche interdisciplinaire pour apporter des innovations significatives dans des domaines variés (Timmis, et al., 2008).

En conclusion, ce chapitre a seulement survolé les multiples facettes de l'intelligence artificielle dans le domaine de l'architecture. Les architectes utilisent déjà des IA, entre autres pour automatiser les tâches répétitives et optimiser les processus de conception. L'IA complète l'intelligence humaine sans la remplacer.

2.3.4. L'IA au service de la conception en architecture

Il a été montré dans le chapitre précédent que les frontières de l'innovation en architecture sont redéfinies par l'avènement de technologies d'intelligence artificielle de pointe, notamment les Modèles de Langage à Grande Échelle (LLM) et les Réseaux Génératifs Antagonistes (GAN). Ces outils offrent aux architectes une nouvelle manière de conceptualiser et de visualiser leurs projets, en automatisant les tâches répétitives et en optimisant les processus de conception. Cependant, malgré ces avancées, un élément fondamental du processus de conception semble avoir été progressivement délaissé sans amélioration : le croquis manuel.

Les croquis, particulièrement les esquisses peu structurées et ambiguës, sont fondamentaux au début du processus de conception, où ils sont intrinsèquement liés à l'innovation et à la créativité. Purcell et Gero ont mis en lumière l'importance des croquis comme outil clé pour la génération d'idées dans les phases initiales du processus de conception (Purcell & Gero, 1998).

Ces esquisses agissent non seulement comme un médium pour l'expression rapide et fluide des idées, mais aussi comme catalyseur pour la pensée créative, permettant aux concepteurs d'explorer une vaste gamme de solutions potentielles avant de s'engager dans des détails plus précis. Leur recherche souligne que, loin d'être de simples représentations visuelles, les croquis servent de pont entre l'imagination du concepteur et la réalisation tangible d'une idée, favorisant ainsi un dialogue continu entre la pensée et le papier qui est crucial pour le développement de concepts novateurs.

À une époque dominée par le numérique et l'intelligence artificielle, Moreira da Silva s'interroge sur la pertinence continue des croquis à main levée dans le processus de conception (Silva, 2023). Malgré l'amélioration des outils de dessin numérique, de nombreux designers de différents domaines préfèrent le croquis traditionnel au stylo ou au crayon pour la génération d'idées. L'étude de Moreira da Silva examine l'interaction entre le croquis et la pensée créative, affirmant que les croquis facilitent non seulement l'exploration visuelle des idées, mais servent également de moyen de communication efficace au sein des équipes de conception. Cette recherche affirme que, même à l'ère de la prédominance numérique, les croquis à main levée conservent leur place essentielle dans le processus de conception, en tant qu'outil puissant pour stimuler l'innovation et la résolution de problèmes.

Albena Yaneva, dans son ouvrage «The Making of a Building: A Pragmatist Approach to Architecture» (Yaneva, 2009), explore l'importance des croquis dans la pratique architecturale. Elle décrit comment les croquis permettent aux architectes d'interagir avec leurs idées de manière dynamique et pragmatique. Yaneva note que les croquis servent non seulement à visualiser des concepts, mais aussi à naviguer entre différentes possibilités créatives et techniques. Selon elle, les croquis constituent un médium essentiel qui facilite la communication des idées et la réflexion collective au sein des équipes de conception. En insistant sur la valeur de cette méthode traditionnelle, Yaneva plaide pour la préservation des croquis manuels dans un contexte de plus en plus dominé par les technologies numériques, soulignant qu'ils restent un vecteur crucial de créativité et d'innovation.

Parallèlement, l'impact de la conception assistée par ordinateur sur la créativité en architecture a été significativement positif, montrant que l'expérience, le croquis, la modélisation physique, l'environnement d'apprentissage et les références visuelles servent d'outils puissants pour stimuler la créativité dans le processus de conception architecturale (Daemei & Safari, 2018). Cependant, la question de savoir si l'architecture smart, qui repose sur des techniques modernes et des technologies de l'information, améliore ou non la créativité architecturale reste débattue. Bien que l'intelligence dans les bâtiments ouvre de nouvelles avenues pour la créativité, il est essentiel d'évaluer son impact sur les aspects formels, fonctionnels, structurels et technologiques de la conception (Saad, et al., 2016).

Même face à l'essor des technologies et des intelligences artificielles, les croquis sont essentiels pour la génération d'idées et la pensée créative. Comme l'ont démontré Purcell et Gero (1998), soutenus par Moreira da Silva (2023) et Yaneva (2008), les croquis servent de catalyseurs pour l'innovation et la réflexion collective au sein des équipes de conception.

2.3.5. Architecture du bâti existant

La tendance actuelle dans le secteur de la construction se déplace progressivement de la construction de nouveaux bâtiments vers la rénovation des structures existantes.

Šijaković et Bajić (2017) mettent en lumière la crise écologique et l'impact significatif de l'industrie de la construction sur la consommation de ressources et la production de déchets. Ils préconisent le recyclage du stock existant de bâtiments comme un élément clé de la conception architecturale durable, notant que la réutilisation et l'adaptation des bâtiments existants peuvent considérablement atténuer les impacts environnementaux et contribuer au développement urbain durable (Šijaković & Bajić, 2017).

Un défi majeur dans le secteur des interventions sur l'existant est l'absence de logiciels dédiés spécifiquement à ces tâches. En effet, la majorité des logiciels disponibles sont conçus pour le développement de nouveaux bâtiments, ne répondant pas ainsi aux besoins spécifiques et aux approches uniques requises par la rénovation. Cette lacune crée un besoin pressant pour des innovations technologiques qui pourraient faciliter la transformation des bâtiments existants. Des recherches soulignent que, bien que les processus tels que le BIM soient bien établis pour les nouveaux bâtiments, la majorité des bâtiments existants ne bénéficient pas encore de ces avancées technologiques pour leur maintenance, leur réfection ou leur déconstruction (Volk, et al., 2014).

2.3.6. Synthèse

Cette section a exploré les impacts des technologies numériques et de l'intelligence artificielle sur la pratique architecturale contemporaine. En retraçant les avancées historiques et les contributions pionnières de figures telles que Frank Gehry, il a été illustré comment ces outils transforment le processus de conception architecturale.

Ces technologies ont non seulement amélioré la précision et l'efficacité des projets, mais ont aussi redéfini les possibilités créatives en architecture, influençant les pratiques contemporaines. L'intelligence artificielle, bien que présente depuis plusieurs décennies dans le domaine, a récemment montré des avancées spectaculaires. Les Réseaux Génératifs Antagonistes (GAN) et les Large Language Models (LLMs) offrent des possibilités étendues pour la création et l'analyse de designs architecturaux.

Cependant, malgré ces avancées, le croquis manuel reste un élément fondamental du processus de conception architecturale. Les recherches montrent que les croquis sont essentiels pour la génération d'idées et la pensée créative, favorisant un dialogue dynamique entre l'imagination et la réalisation tangible.

Enfin, la tendance vers la rénovation des structures existantes, plutôt que la construction de nouveaux bâtiments, souligne l'importance de la durabilité en architecture. Cependant, l'absence de logiciels spécifiquement dédiés à la rénovation des structures existantes pose un défi, nécessitant des innovations technologiques pour faciliter cette transition.

En synthétisant ces fondements, il devient plus clair comment les avancées technologiques peuvent être intégrées de manière cohérente et bénéfique dans la pratique architecturale. Nonobstant, au-delà de ces aspects techniques, il est essentiel d'approfondir la compréhension

du rôle de la créativité. Cette exploration visera à saisir comment l'innovation technologique peut enrichir et être enrichie par l'imagination créative, et ainsi promouvoir une architecture qui soit à la fois fonctionnelle, esthétique et inspirante.

2.4. La créativité

La créativité est une notion riche et multidimensionnelle. En mars 2024, selon le dictionnaire Larousse, la créativité se réfère à la « capacité, faculté d'invention, d'imagination ; pouvoir créateur ». Cela souligne l'importance de l'innovation et de la capacité à envisager et à matérialiser de nouvelles idées, concepts ou objets. Cette définition met en lumière la créativité comme un attribut intrinsèque de l'humain, permettant d'apporter des contributions uniques et novatrices à divers domaines.

D'autre part, le dictionnaire élargit cette conception en y incluant la notion d'aptitude à « concevoir ce qui n'existait pas auparavant, en imaginant ou en combinant de manière originale ». Cette perspective accentue l'aspect de nouveauté et d'originalité, essentiel dans la création de quelque chose d'unique. De même, le dictionnaire de l'Académie française identifie la créativité comme une « aptitude à créer, à inventer ».

La créativité est le reflet de notre capacité à produire des idées à la fois originales et utiles. Elle est le résultat d'un processus dynamique, reliant la flexibilité cognitive à la persévérance, permettant d'explorer diverses catégories de contenu pour générer des idées novatrices. Ce processus peut être influencé par des variables situationnelles ou dispositionnelles, affectant soit la flexibilité, soit la persévérance, ou les deux (Nijstad, et al., 2010).

Depuis les questionnements de J. P. Guilford en 1950, le monde éducatif s'interroge sur la manière d'encourager la créativité chez les élèves. À travers différentes méthodologies et approches pédagogiques, l'objectif reste de développer un environnement propice à l'épanouissement de la créativité, reconnaissant son lien intrinsèque avec l'apprentissage et le développement personnel (Fasko, 2001). L'orientation humaniste des enseignants, leur compétence à intégrer des méthodes créatives en classe, et leur propre développement créatif sont des facteurs déterminants pour favoriser les capacités créatives chez leurs élèves (Esquivel, 1995).

Les études sur la créativité révèlent des différences fascinantes entre les cultures orientales et occidentales, tant dans la conception de la créativité que dans ses expressions. Ces divergences soulignent l'importance du contexte culturel dans la compréhension et l'encouragement de la créativité (Niu & Sternberg, 2002).

L'évaluation de la créativité reste un défi majeur, avec diverses méthodes proposées allant des tests de pensée divergente aux inventaires biographiques. Chaque technique offre une perspective unique sur la créativité, mais souligne également la complexité de sa mesure et la nécessité d'approches nuancées pour identifier véritablement le potentiel créatif (Hocevar, 1981).

La recherche sur la personnalité créative a identifié un ensemble de traits, attitudes et styles personnels associés à la haute créativité. Ces caractéristiques ne se limitent pas aux individus traditionnellement reconnus comme créatifs, mais se retrouvent à divers degrés chez beaucoup, suggérant que la créativité peut être cultivée et développée au-delà des talents innés (Selby, et al., 2005).

La créativité est une composante essentielle de l'expérience humaine, influençant profondément notre développement personnel, culturel et sociétal. En comprenant mieux ses multiples facettes, de son histoire à ses manifestations contemporaines, il est possible d'apprécier son rôle dans notre capacité à innover.

2.4.1. Les intelligences artificielles sont-elles créatives?

Dans les annexes, il est possible de parcourir l'histoire de l'intelligence artificielle au point 6.1 avec le célèbre épisode de Deep Blue. En 1997, la victoire de Deep Blue, une création d'IBM, sur le grand maître d'échecs Garry Kasparov, a marqué une ère nouvelle dans la perception qu'a le grand public de l'intelligence artificielle. Cet événement, souvent vu comme une démonstration de puissance calculatoire plutôt que de véritable inventivité, a suscité de nombreuses discussions. Deep Blue utilisait un système d'évaluation des pièces d'échecs basé sur un système de points : les pions valaient 1 point, les cavaliers et les fous 3 points, les tours 5 points, et la reine 9 points. Le roi, bien que crucial, car sa capture signifie la fin du jeu, n'était pas inclus dans cette évaluation simplifiée pour l'échange des pièces. Bien sûr, les algorithmes de Deep Blue étaient en réalité plus complexes, mais cette explication donne une idée générale de son fonctionnement. Son approche, bien qu'ingénieuse, reposait plus sur une analyse exhaustive des possibilités que sur une innovation créative (Louapre, 2019).

Le jeu de Go, avec sa grille de 19x19 et une liberté de mouvement donnant lieu à plus de 300 coups possibles au début de chaque partie, a représenté un défi de taille pour l'intelligence artificielle. Contrairement aux échecs, où des algorithmes comme Deep Blue pouvaient exceller en calculant de vastes suites de coups, le Go exige une forme d'intuition et de stratégie qui semblait au-delà de la portée des IA. Cependant, en 2016, AlphaGo de Google DeepMind a bouleversé cette perception en battant Lee Sedol, un champion mondial du jeu de Go.

Le 37e coup de la deuxième partie, où AlphaGo, jouant avec les pierres noires, a choisi une position surprenante sur le bord du plateau, a stupéfié les spectateurs et experts. Ce coup a été interprété par certains comme une manifestation de créativité, bien que l'IA ait été formée sur des milliers de parties jouées par des humains, suggérant qu'elle pourrait avoir simplement mimé des stratégies humaines peu communes.

Ensuite, il y a eu AlphaZero, qui marque une étape révolutionnaire dans la quête de l'autonomie créative des intelligences artificielles. Contrairement à ses prédécesseurs, AlphaZero a été conçu pour apprendre entièrement de zéro, sans s'appuyer sur des bases de données de parties humaines. Cette approche d'autoapprentissage, basée sur le principe de renforcement, a permis à cette IA de développer ses propres stratégies. AlphaZero, maîtrisant non seulement le Go, mais aussi les échecs et le Shogi, a démontré une capacité remarquable à transférer et à adapter ses apprentissages d'un domaine à l'autre, exhibant une forme de compréhension stratégique et d'innovation qui dépasse le cadre des simples calculs (Metz, 2021).

Ce qui distingue AlphaZero, c'est son approche généraliste, capable d'atteindre des niveaux de compétence supérieurs dans plusieurs jeux de réflexion, sans prédispositions spécifiques pour l'un ou l'autre. Cette polyvalence met en lumière une forme de plasticité intellectuelle et de créativité algorithmique qui n'était auparavant attribuée qu'à l'intelligence humaine. Les stratégies élaborées par AlphaZero dans le jeu d'échecs, par exemple, ont été saluées pour leur

originalité et leur audace, souvent comparées à des coups de génie dignes des grands maîtres. Dans le contexte du Go, sa capacité à concevoir des coups et des stratégies inédits, qui déconcertent encore les meilleurs joueurs humains, souligne un niveau d'innovation autonome inattendu. En outre, AlphaZero a affronté les algorithmes les plus performants du jeu de Go, tels qu'AlphaGo, ainsi que des programmes d'échecs de haut niveau comme Stockfish, et les a nettement surpassés.

La progression d'AlphaGo à AlphaZero remet profondément en question les frontières traditionnelles de la créativité et de l'apprentissage. AlphaZero, en développant des stratégies innovantes sans se baser sur l'expérience humaine, suggère que l'intelligence artificielle peut transcender le simple calcul pour atteindre une forme d'innovation autonome. Cette capacité à générer de nouvelles idées à partir d'un « tableau vierge » indiquerait que la créativité pourrait ne pas être une prérogative exclusivement humaine.

Ces avancées invitent à repenser les interactions entre humains et machines, envisageant un avenir où l'IA pourrait enrichir et étendre le domaine du possible créatif bien au-delà de ce qu'il est possible d'imaginer. La question de savoir si la créativité est une qualité exclusivement humaine demeure ouverte, alimentant un débat fascinant qui continue de dynamiser le champ de l'intelligence artificielle.

Toutefois, il faut reconnaître que la créativité et l'originalité manifestées par les intelligences artificielles dans des domaines ciblés, tels que les jeux d'échecs ou de Go, ne s'appliquent pas nécessairement de manière universelle à d'autres sphères de créativité et d'innovation.

2.4.2. L'image comme médium de communication en architecture

Les sections précédentes ont examiné les divers aspects de la créativité, y compris ses définitions ou son importance dans le développement personnel et éducatif. En soulignant ces éléments, une base a été établie pour comprendre la créativité et ses modes de cultivation.

À contrario, ce chapitre va se concentrer sur un aspect spécifique de la créativité en architecture: l'utilisation des images comme médium de communication. Ce chapitre mettra en exergue comment les images jouent un rôle dans les compétitions architecturales et dans la diffusion des idées, en se basant sur le travail de Hamish Lonergan, « The Architecture Competition as Contact Zone » (Lonergan, 2020).

Après l'incendie de la cathédrale Notre-Dame de Paris en avril 2019, de nombreux architectes ont proposé des idées de reconstruction, souvent à l'aide de rendus visuels. Ces images ont rapidement circulé sur les réseaux sociaux et les plateformes de design, suscitant diverses réactions du public. Par exemple, dès le 16 avril, le Studio Fuksas a proposé une vision pour la restauration de Notre-Dame, intégrant une flèche en cristal de Baccarat. Cette proposition a été suivie par de nombreuses autres, publiées sur Instagram, X (anciennement Twitter) et relayées par des sites de design comme Dezeen et Archdaily. Parmi celles-ci, on trouvait des variations en vitrail et cristal vert, certaines transformant le toit en serre remplie de plantes, comme le projet de Studio NAB et de la société de rendu Miosis Studio.



Figure 3 : Un toit en serre pour Notre-Dame [Studio NAB, <https://www.archdaily.com/915803/studio-nab-designs-a-greenhouse-roof-for-notre-dame>]

Figure 4 : Hommage à Notre-Dame de Paris, vue intérieure [Mysis 3D Studio, <https://notre-dame-paris.mysis.be>]

Les réactions aux propositions ont été variées, allant de l'admiration à la critique acerbe. La proposition de Studio Fuksas, par exemple, a été l'une des premières à capter l'attention, mais elle a été rapidement rejointe par d'autres idées tout aussi audacieuses. Le site Dezeen a même éditorialisé sur les meilleures propositions le 25 avril, ce qui a amplifié encore plus l'intérêt et les débats autour de ces images.

Cependant, toutes les propositions n'ont pas été prises au sérieux. Certaines idées, comme celle de « Kiss the Architect », qui remplaçait la flèche par un assemblage de colonnes, d'arcs et de sphères, ont été perçues comme satiriques. De même, une proposition transformant le toit en piscine méditative par Ulf Mejergren Architects a été modifiée en un parking à plusieurs étages, puis en une piscine à balles pour enfants par des utilisateurs de X et des comptes de mêmes (satirique) architecturaux. Les images ont été rapidement modifiées et redistribuées, créant une spirale de transformations et de réinterprétations qui a captivé un large public.



Figure 5 : Proposition de piscine pour Notre-Dame de Paris [Ulf Mejergren Architects, <https://www.u-m-a.se>]

Figure 6 : Parking à étages multiples [Rob Cross, <https://twitter.com/RobCross247>]

Cette viralité des images a transformé cet événement architectural en un phénomène médiatique global. Lonergan explique que ce flot incessant de propositions et de leurs modifications a créé un réseau complexe de références qui a alimenté la discussion publique et professionnelle. Par exemple, une proposition de remplacer la flèche par le vaisseau de Heatherwick par Oliver Wainwright a été partagée comme une mise en garde contre l'architecture iconique délibérée, tandis que d'autres images ont continué à évoluer et à être partagées, devenant des mèmes. La proposition de UMA, bien qu'intentionnée comme une expérience publique novatrice, a souvent été mal interprétée lorsqu'elle a été sortie de son contexte architectural spécifique.

La diffusion virale des propositions architecturales a également révélé les tensions entre l'innovation et la sensibilité historique. Par exemple, les propositions qui utilisaient du verre et des matériaux contemporains ont été critiquées pour leur manque de respect envers le patrimoine

historique de Notre-Dame. En même temps, ces propositions ont démontré une volonté d'expérimenter avec des concepts modernes. Un autre exemple est celui de l'architecte Sebastian Errazuriz qui a remplacé la flèche par une fusée dans sa proposition, qu'il a décrite comme un acte de surenchère créative visant à épuiser la patience du public pour un nouveau toit. Cette idée montre les limites de l'acceptabilité publique des concepts architecturaux trop avant-gardistes.



Figure 7 : Une rampe de lancement pour Notre-Dame de Paris [Sebastian Errazuriz, <https://www.dezeen.com/2019/05/21/rocket-notre-dame-proposal-sebastian-errazuriz/>]

En outre, la prolifération des propositions non sollicitées a alimenté les craintes publiques d'une solution architecturale insensible. Cela a contribué à la décision du Sénat français de bloquer une compétition officielle et de restaurer la cathédrale à son état visuel précédent. Cette décision a été perçue par certains comme une réaction contre l'innovation et un retour à la tradition.

La compétition pour la reconstruction de Notre-Dame, bien que jamais officiellement lancée, a pris la forme d'un phénomène médiatique où les images jouaient un rôle central. Les propositions ont été diffusées et modifiées de manière virale, créant un réseau de connexions référentielles sur internet. Lonergan évoque la manière dont certaines propositions ont évolué en mèmes, illustrant comment la culture numérique peut transformer des idées architecturales en objets de consommation et de discussion publics.

En conclusion, les images jouent un grand rôle dans la communication en architecture. Les images ne sont plus seulement des médiums de présentation, mais des vecteurs de discours et d'influence culturelle.

2.4.3. Synthèse

Cette section a montré l'importance de la créativité dans divers domaines. Définie par les dictionnaires Larousse et de l'Académie française comme la capacité à inventer et imaginer des idées nouvelles et originales, la créativité est un processus dynamique influencé par la flexibilité cognitive et la persévérance.

L'évaluation de la créativité reste complexe et nécessite des approches nuancées. Les traits de personnalité associés à la créativité montrent qu'elle peut être développée au-delà des talents innés. Les avancées en intelligence artificielle, comme AlphaGo et AlphaZero, montrent que les algorithmes peuvent atteindre des niveaux d'innovation surprenants, mais ils ne remplacent pas la créativité humaine.

Les projets de reconstruction de Notre-Dame ont démontré comment les rendus visuels peuvent rapidement devenir viraux en tant que médium de communication, influençant non seulement le débat public, mais aussi la direction des projets architecturaux eux-mêmes. Cependant, cette

viralité peut aussi exposer les architectes à des critiques intenses et à des malentendus, soulignant l'aspect choquant et marquant de certaines propositions créatives. Ces images peuvent susciter des réactions fortes et variées.

En conclusion, comprendre la créativité permet de mieux apprécier son rôle dans l'innovation et le progrès. Cultiver cette capacité enrichit notre interaction avec le monde, ouvrant de nouvelles possibilités créatives et inspirantes.

2.5. Synthèse de l'état de l'art

Cet état de l'art a examiné l'évolution de l'architecture à travers les avancées technologiques et les défis contemporains. La contextualisation historique a montré comment les innovations, de la révolution industrielle aux logiciels de conception assistée par ordinateur, ont constamment redéfini les pratiques architecturales. Les travaux de Sigfried Giedion et Francis Ching ont fourni une compréhension des fondements historiques et des principes de la conception architecturale, soulignant l'importance de l'intégration technologique pour répondre aux besoins fonctionnels, esthétiques et symboliques (Giedion, 1954) (Ching, 2014).

Les technologies numériques, notamment le BIM, ont révolutionné la conception architecturale, facilitant une meilleure collaboration et une gestion plus efficace des projets. Frank Gehry, pionnier de l'utilisation des logiciels de modélisation 3D, illustre comment ces outils permettent de repousser les limites de la créativité architecturale. En parallèle, l'intelligence artificielle a montré des avancées prometteuses pour optimiser les processus de conception, notamment par l'automatisation des tâches répétitives et la génération de variantes de conception (Gehry & Cohen, 2003).

Cependant, malgré ces avancées, l'importance des méthodes traditionnelles comme les croquis manuels demeure cruciale. Albena Yaneva a mis en évidence le rôle fondamental des croquis dans le processus de conception, soulignant leur capacité à faciliter la réflexion créative et la communication des idées. Les croquis restent un médium indispensable pour l'innovation, en permettant une exploration flexible et intuitive des concepts architecturaux (Yaneva & Latour, 2008) (Yaneva, 2009).

Le domaine de la rénovation des structures existantes présente des défis spécifiques, notamment l'absence de logiciels dédiés. Les recherches (Šijaković & Bajić, 2017) ont souligné l'importance de recycler le stock de bâtiments existants pour une architecture durable, mais le secteur nécessite des innovations technologiques pour surmonter les obstacles actuels. L'utilisation de l'IA et des outils numériques peut potentiellement combler ces lacunes, en optimisant les processus de rénovation et en réduisant l'impact environnemental.

Les projets de reconstruction de Notre-Dame ont montré comment les rendus visuels, en tant que médium de communication, peuvent devenir viraux.

En synthèse, l'état de l'art démontre que l'architecture contemporaine doit naviguer entre tradition et innovation. Les avancées technologiques offrent des opportunités substantielles pour améliorer l'efficacité et la créativité, tout en préservant les méthodes traditionnelles qui restent essentielles pour la réflexion créative. Le chapitre suivant s'appuiera sur cet état de l'art pour tenter de combler les lacunes identifiées, illustrant de manière cohérente et bénéfique comment ces outils peuvent être intégrés dans la pratique architecturale.

3. Mise en pratique

De l'état de l'art, découle d'une part, un besoin des architectes d'exprimer leurs idées à l'aide de croquis et, d'autre part, des nouvelles possibilités offertes par l'intelligence artificielle. Ce travail de fin d'études propose de marier tradition et innovation dans le domaine de la conception architecturale en développant une plateforme d'intelligence artificielle intégrant le croquis. En exploitant les capacités avancées de l'IA, cette plateforme transformera les esquisses manuelles en visualisations numériques et en modèles 3D. De plus, pour répondre aux manquements des logiciels existants et à la demande croissante d'interventions sur les bâtiments existants, cette plateforme utilisera l'IA pour transformer le bâti en canevas, facilitant ainsi l'intervention.

Ce pont entre tradition et innovation offre aux architectes une combinaison unique de l'approche du croquis avec les avantages de précision, de rapidité et de diversité apportés par l'IA. L'outil ne vise pas à simplifier la conception, mais à enrichir le dialogue créatif entre l'architecte et ses œuvres, permettant une exploration sans limite des formes, des textures et des espaces. Il favorise ainsi une innovation continue tout en respectant les méthodes traditionnelles, répondant aux besoins contemporains de la profession.

3.1. L'application

3.1.1. Présentation de l'application

L'application se présente sous la forme d'un site web composé de trois onglets principaux :

- *Sketch-to-Image*
- *Generation-Settings*
- *Account*

Dans le premier onglet, « Generation-Settings », l'utilisateur a la possibilité de gérer et de personnaliser les paramètres de génération. Il peut sélectionner une description de ce qu'il souhaite générer, choisir la saison, la vue, le moment de la journée, ainsi que la précision du dessin ou la fidélité globale à la description et aux réglages. Il a également la possibilité de prioriser le réemploi et de prêter une attention particulière au budget ou à l'environnement, bien que ces paramètres soient extrêmement simplifiés.

Chaque génération consomme un crédit, tout comme chaque modification des paramètres entraîne la déduction d'un crédit. Ce système de crédits est conçu pour empêcher les utilisateurs non autorisés de démarrer des calculs et pour suivre l'utilisation de l'application par les utilisateurs.

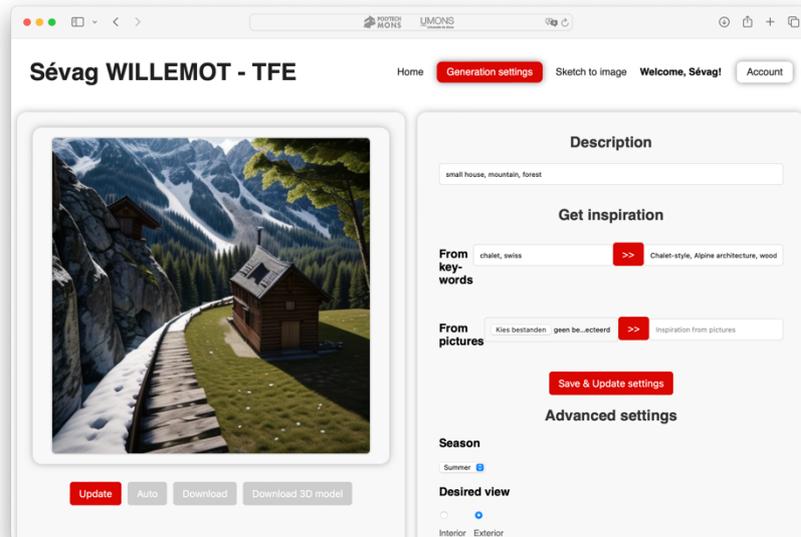


Figure 8 : Page « Generation-Settings » de l'application

Ensuite, l'onglet « Sketch-to-Image » permet aux utilisateurs de dessiner des croquis que le système transforme en images. La fusion des fonctionnalités de ces deux onglets offre aux utilisateurs la possibilité de concevoir des concepts novateurs. Il est également possible d'utiliser une photo comme base pour la génération d'images. Un mode automatique est disponible pour convertir en temps réel le dessin en image.

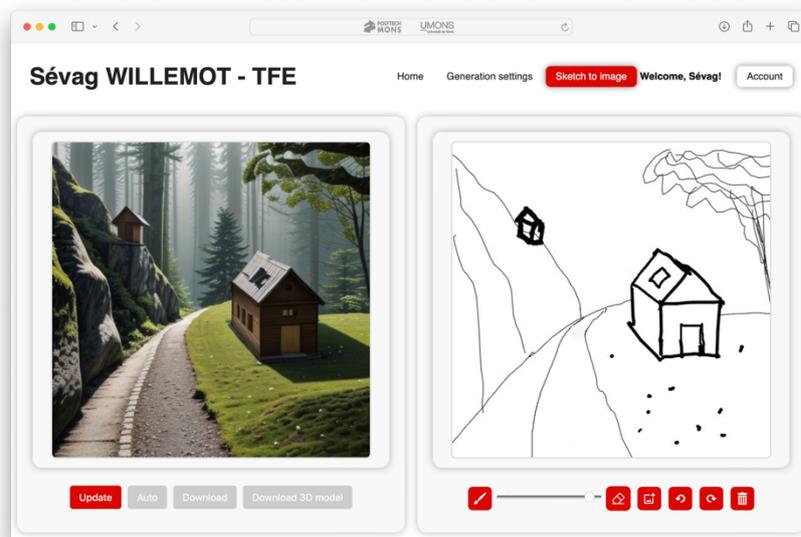


Figure 9 : Page « Sketch-to-Image » de l'application

Dans ces deux sections, il est possible de télécharger à tout moment le modèle 3D correspondant à l'image générée, ce qui désactive le mode automatique.

L'onglet « Account » permet aux utilisateurs de consulter leur solde de crédits et d'accéder à des détails de leur compte tels que l'adresse électronique. Pour accéder à ces informations, il est nécessaire d'être connecté. Les utilisateurs peuvent se connecter ou créer un compte. Le fait d'exiger un compte pour accéder à l'application sert plusieurs objectifs pratiques et de sécurité,

notamment la limitation de l'abus de la génération d'images et la gestion personnalisée des projets des utilisateurs, avec la capacité de sauvegarder et de récupérer les travaux en cours.

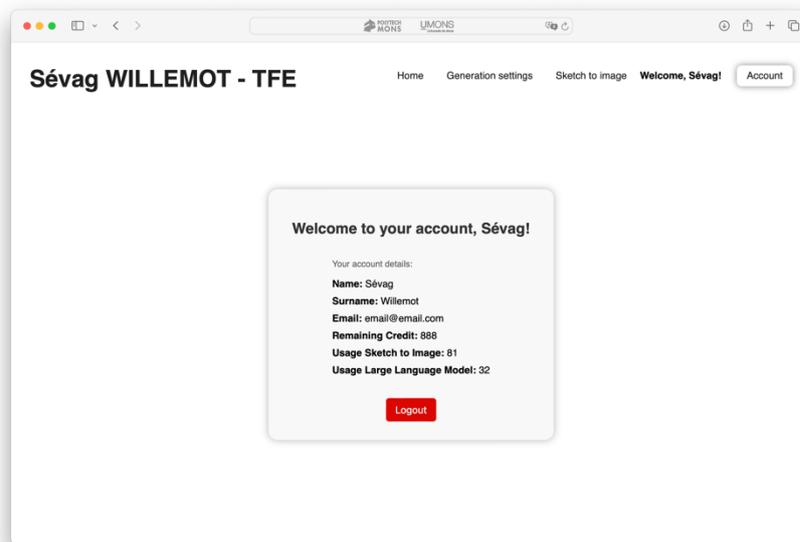


Figure 10 : Page « Account » de l'application

Pour finir, l'application dispose d'une page par défaut qui explique en détail toutes les fonctionnalités disponibles et fournit des instructions sur la navigation au sein de l'application.

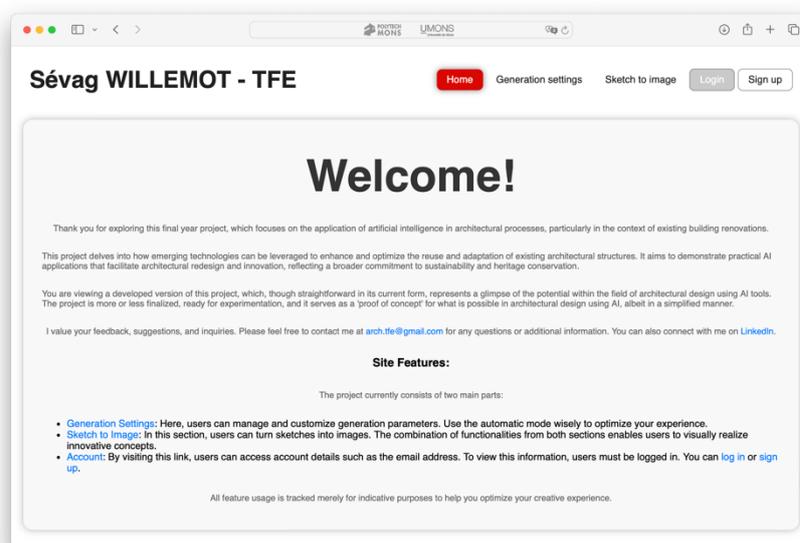


Figure 11 : Page « Home » de l'application

Initialement, l'application était destinée à être diffusée en ligne, mais des contraintes temporelles et technologiques ont empêché son partage. En conséquence, de nombreuses fonctionnalités développées se sont avérées inutiles.

3.1.2. Choix des technologies

Destinée à faciliter l'intervention sur des bâtiments existants, l'application intègre des outils permettant aux utilisateurs de charger des images de structures existantes comme base de travail. Cette approche élimine le besoin de redessiner entièrement chaque bâtiment, économisant ainsi un temps précieux et augmentant l'efficacité du processus de conception. La fonctionnalité de « canva » intégrée, avec des outils comme le crayon et la gomme, ainsi que la sauvegarde en temps réel sur le serveur, enrichissent cette expérience utilisateur en permettant des modifications instantanées et personnalisées.

La section traitant des paramètres de génération sera expliquée plus loin dans ce chapitre. Dans ce contexte technologique où les modèles de génération automatique tels que les LLM et les GANs ont déjà prouvé leur valeur, l'utilisation d'un modèle de diffusion, spécifiquement Stable Diffusion (Stability AI, 2024), s'avère particulièrement judicieuse. Bien que les GANs soient réputés pour leur capacité à créer des images à partir de descriptions textuelles et visuelles, le choix d'un modèle de diffusion pour cette application se justifie pour plusieurs raisons :

1. Les modèles de diffusion, grâce à leur processus itératif de raffinement du bruit, sont capables de générer des images avec une qualité et une précision exceptionnelle, essentielles pour les détails architecturaux complexes. (MLK, 2023)
2. Contrairement aux GAN, qui peuvent souffrir d'instabilités, les modèles de diffusion offrent une formation plus stable, garantissant une génération d'image fiable et cohérente, un avantage pour une application où la précision est importante (Anakin.ai, 2023).

Et surtout, dans le cadre de ce travail de fin d'études, l'objectif n'est pas de réinventer la roue, mais de mettre en relation les bonnes technologies. Stable Diffusion en l'occurrence est non seulement très accessible en termes de disponibilité du modèle, mais aussi soutenu par une large communauté, facilitant son intégration et son utilisation dans des environnements de développement variés.

La performance de l'application, qui peut générer des images en une demi-seconde et créer un modèle 3D à partir d'une image en cinq secondes, démontre que la technologie sous-jacente doit être à la fois puissante et optimisée pour fonctionner efficacement sur des dispositifs moins performants, comme les tablettes utilisées avec un stylet. Cette portabilité est essentielle pour une application destinée à l'usage mobile et à la collaboration à distance. C'est pourquoi il a été choisi de développer une application web avec Flask et Python, qui permet une facilité de partage et de test à distance. L'arborescence du code est fournie en annexes au point 6.2 à titre indicatif.

Ainsi, l'intégration du modèle de diffusion dans cette application se présente non seulement comme une solution pratique, mais aussi comme une avancée technologique alignée avec les besoins spécifiques du domaine de l'architecture et de la conception assistée par IA.

A. *Sketch-To-Image*

Afin d'optimiser la transformation des croquis en images, certaines concessions ont été nécessaires, d'autant plus que les technologies de ce domaine évoluent rapidement, pouvant changer radicalement en l'espace de deux semaines. Le choix du modèle s'est donc principalement basé sur le rapport qualité-performance. Parmi les options disponibles, Stable Diffusion, un modèle de diffusion, s'est révélé être le choix le plus adéquat.

La génération débute avec du bruit aléatoire qui est progressivement affiné au fil des étapes, jusqu'à obtenir une image finale. À chaque étape, le modèle évalue comment passer de l'entrée actuelle à une version débruitée.

Un test comparatif a été mené afin de faciliter le choix du modèle. À chaque modèle, un ensemble de tâches a été assigné avec des consignes similaires aux suivantes :

- Prompt positif: (19th century:1.2), (art nouveau architecture:1.3), lush green parks, photo realistic, rules of third, f1.4, depth of field, realism, detail, lakes, unique masterpiece, (landscape :1.2)
- Prompt négatif: ugly, low resolution, blurry, bad, human

Ces consignes ont été générées par ChatGPT (OpenAI, 2024) ainsi que d'autres semblables et affinées en guise de comparaison. Ces prompts servent de directives pour orienter la génération d'images par les modèles de diffusion. Le prompt positif fournit des instructions spécifiques sur les éléments souhaités dans l'image, comme le style architectural, la qualité réaliste, la composition visuelle et les détails paysagers. En revanche, le prompt négatif indique les caractéristiques indésirables à éviter, telles que la mauvaise résolution ou les aspects flous. Les mots comme « unique masterpiece », « rules of third », « f1.4 », « depth of field », et « realism » ne sont pas utilisés pour générer les images directement, mais servent à orienter les modèles dans la création d'images de haute qualité.

Les quatre modèles qui vont être testés sont les suivants : Stable Diffusion 1.5 et 2.1, SDXL et Cascade. Ils diffèrent principalement par leurs capacités de traitement et de génération d'images.

Stable Diffusion 1.5 utilise l'encodeur de texte CLIP ViT-L/14 et produit des images en résolution 512 x 512 pixels. En revanche, la version 2.1 utilise l'encodeur OpenCLIP-ViT/H, offrant une meilleure compréhension des prompts textuels et générant des images plus grandes (768 x 768 pixels). Le modèle SDXL améliore encore la qualité et la précision des images avec une architecture plus complexe et deux encodeurs de texte préentraînés, produisant des résultats particulièrement détaillés et réalistes. Enfin, Cascade se distingue par sa capacité à générer des images en plusieurs étapes. Un modèle de base crée des ébauches d'image initiales, qui sont ensuite affinées par un modèle spécialisé, souvent combiné avec SDXL pour des résultats optimaux (HuggingFace, 2023) (Stability AI, 2024).



Figure 12 - Comparaison de 4 modèles de diffusion, respectivement SD 1.5, SD 2.1, SDXL et SD Cascade

Après avoir effectué plusieurs tests, il est apparu clairement que le modèle Cascade produit les résultats les plus esthétiques. Cependant, ses sorties sont souvent moins diversifiées et nécessitent un temps de génération plus long, ce qui a conduit à son exclusion. De plus, en raison du temps de génération et de l'inconsistance des modèles 2.1 et SDXL, ceux-ci ont également été écartés. Par conséquent, c'est le modèle 1.5 qui a été retenu. Les résultats et un extrait des images de ces tests sont disponibles en annexe au point 6.3.

Cette évaluation reste toutefois un peu simple, car elle dépend non seulement des prompts, mais aussi du nombre d'étapes de génération choisi par l'utilisateur, variant pour chaque modèle. Pour un modèle version 1.5, cela représente environ 25 étapes, tandis que pour un 1.5 LCM (Latent Consistency Model), le nombre d'étapes peut descendre à 8. De plus, la taille de l'image générée varie également selon le modèle, pouvant passer de 512x512 pixels à 1024x1024 pixels, ce qui quadruple le nombre de pixels à générer. Chaque modèle requiert une résolution minimale d'image pour laquelle il a été entraîné.

Le contrôle de la génération a également été étudié. Il existe deux méthodes principales. Dans une utilisation classique de Stable Diffusion pour la conversion texte-image, le modèle reçoit du bruit aléatoire. Utilisant le prompt textuel comme source d'indications sur l'apparence supposée du bruit, le modèle s'efforce de reconstituer une image sur cette base. Ce processus se déroule sur plusieurs étapes, réduisant progressivement le bruit à chaque fois.

Maintenant, lorsqu'une image est fournie en entrée, du bruit est ajouté à celle-ci. Stable Diffusion va ensuite utiliser cette image altérée comme entrée et va générer, à la fin des itérations, une nouvelle image ressemblante à l'inverse de la quantité de bruit ajoutée sur celle de base.

Une deuxième méthode consiste à utiliser un type de modèle supplémentaire, ControlNet (Lllyasviel, 2023), qui permet de contrôler les modèles de diffusion en conditionnant le modèle avec une image supplémentaire en entrée. Il existe divers types d'entrées conditionnelles (canny, depth, openpose, scribbles, normal map, etc.) permettant de mieux maîtriser la génération d'images en fonction de l'entrée.

Dans ce contexte, le test a été réalisé avec tous les modèles cités plus haut, mais ControlNet n'est pas aussi efficace ni disponible pour tous les modèles.



Figure 13 : Comparaison croquis initial vs img2img vs ControlNet

Grâce à ces tests, le choix final s'est orienté vers une base de SD 1.5 LCM, plus précisément vers le DreamShaper V8 LCM, lancé le 6 décembre 2023 par Lykon (Lykon, 2023). En ce qui concerne la méthode de contrôle de la génération, c'est le modèle ControlNet, accompagné du modèle Lineart, qui a été privilégié. Ces choix reflètent un compromis optimal entre qualité, performance et contrôle de la génération d'images, alignant ainsi technologie et exigences spécifiques du projet. Des tests plus précis auraient pu être réalisés, mais le but de ce travail de fin d'études était d'identifier une solution adéquate et fonctionnelle.

B. Sketch-To-Image

Les modèles de langage à grande échelle (LLM) emploient des réseaux de neurones profonds pour générer du texte qui simule la manière dont les humains écrivent et parlent. Ces modèles sont préalablement entraînés sur une quantité massive de textes provenant d'internet, de livres, d'articles et d'autres médias. Lorsqu'un utilisateur soumet une question ou une directive, le LLM

répond en calculant la suite de mots la plus plausible, en prenant en compte le contexte fourni par l'utilisateur et ce qu'il a appris durant son entraînement. Cette faculté à produire des réponses contextuellement pertinentes confère aux LLM une grande polyvalence et une utilité dans divers domaines, allant de l'assistance clientèle à la création de contenu.

Le défi ici consistait à identifier un modèle capable, d'une part, de fonctionner localement avec une rapidité de génération élevée pour produire du texte, et non des images. Le LLM sert à trois fins au sein de l'application, incluant deux fonctions plus élémentaires :

- S'inspirer et extraire des mots clés à partir d'une localisation
- Compiler les réglages de génération en un prompt pour alimenter le modèle de diffusion
- S'inspirer et récupérer des mots clés à partir d'images

Les modèles dépourvus d'adaptateur visuel sont de ce fait écartés. Il était donc recherché des modèles dotés d'un réseau de neurones convolutif ou d'une architecture de type Transformer, conçus pour traiter les images. Ce module visuel est synchronisé avec le LLM, permettant ainsi la conversion des informations visuelles en caractéristiques compréhensibles par le modèle de langage.

Un test comparatif a ensuite été réalisé pour faciliter le choix. À chaque modèle, la même tâche a été assignée selon les consignes suivantes :

- System
 - This is a location to prompt assistant. Generate a prompt using only keywords for a text-to-image AI, describing {location} architectural style and construction materials. Avoid full sentences. Use a maximum of 6 keywords. Avoid mentioning the location.
- User
 - Provide a keyword-based prompt for a text-to-image AI. Describe the architectural style and construction materials of {location} using keywords (max 6 words). Avoid full sentences. Do not repeat the location. Example answer from you: glass, steel

La vitesse de génération et la qualité des réponses ont constitué les critères les plus déterminants dans le choix du modèle. Peu voire aucune différence n'a été repérée pour des modèles de même taille en nombre de paramètres ou en gigabytes. Le modèle finalement retenu est le LLaVA (Large Language-and-Vision Assistant)-1.6-Mistral-7B-GGUF (Haotian-liu, 2023) (Mistral AI, 2024), open source. Il s'agit d'un modèle de langage basé sur l'architecture Transformer.

Ce travail a été réalisé pour assurer que le modèle choisi répondait aux exigences spécifiques du projet, en combinant rapidité, qualité de génération et capacité à traiter à la fois des données textuelles et visuelles.

C. Image-To-Sketch

Dans le cadre du développement de l'application, la fonctionnalité « Image-To-Sketch » constitue un point important pour les utilisateurs travaillant sur des bâtiments existants. Cette fonctionnalité offre la possibilité de convertir une photographie d'un bâtiment existant en un croquis numérique. Cette étape initiale de transformation en croquis permet ensuite à l'image générée d'être utilisée à l'aide des outils élémentaires intégrés dans l'application, tels que le crayon et la gomme, tout en restant dans un cadre monochrome.

Le processus commence par la conversion de la photographie en un dessin fait à l'aide de lignes simplifiées.



Figure 14 : Exemple de conversion d'une image vers des lignes simplifiées

Cette image est ensuite traitée à l'aide du modèle « 4x-AnimeSharp » (Kim2091, 2021), qui augmente la résolution du croquis. Par la suite, un mécanisme de contrôle de génération ajuste l'image afin de correspondre aux attentes esthétiques prédéterminées. Ce mécanisme s'oriente suivant des directives spécifiques :

- Prompt positif: (thick line art:1.7, simple white background, graphic vector), black and white
- Prompt négatif: ugly, bad, oil textures, complex scenes, blurred, glitched, blurry, cartoon realism, low resolution

Un IPAdapter couplé de ControlNet permet d'utiliser l'image de référence aux côtés d'invites textuelles pour générer des images qui combinent des éléments des deux modalités, offrant ainsi un contrôle plus fin sur le résultat de la génération d'images. Ces images de références sont traitées par le modèle CLIP Vision, qui les encode en vecteurs de caractéristiques. Ces vecteurs sont essentiels, car ils représentent visuellement le contenu des images d'une manière que le modèle de génération peut comprendre.

Une fois que l'IPAdapter a intégré les vecteurs de caractéristiques et appliqué les adaptations nécessaires, il produit un modèle adapté. Ce modèle est alors prêt à être utilisé pour la génération d'images.

Un dernier filtre, enlevant le gris de l'image, est appliqué pour avoir quelque chose de plus utilisable dans l'application.



Figure 15 : Exemple de conversion d'une image vers des lignes simplifiées puis vers un croquis

D. Image-To-3D

Dans le cadre de ce projet, la transformation d'images en modèles tridimensionnels constitue un enjeu technologique. La méthode adoptée pour le prototype a privilégié une solution simple et

rapide à mettre en œuvre, démontrant ainsi la faisabilité du concept sans pour autant exploiter les techniques plus complexes disponibles.

Néanmoins, il est reconnu que des techniques plus avancées pourraient enrichir considérablement le processus. Une possibilité serait de générer plusieurs vues de l'objet ciblé (par exemple, de haut, de bas, de gauche et de droite) afin de composer un ensemble de données bidimensionnelles plus complet pour la conversion en trois dimensions. L'utilisation subséquente de cartes de profondeur ou d'autres techniques de modélisation géométrique pourrait améliorer la précision et le détail des reconstructions tridimensionnelles.

Le choix s'est porté sur le modèle TripoSR (VAST-AI-Research, 2024), un modèle de grande reconstruction, se distinguant par sa capacité à offrir une vitesse et une qualité de reconstruction nettement supérieures aux alternatives disponibles en open source lors d'évaluations qualitatives et quantitatives (Hong, et al., 2024).

En conclusion, bien que la méthode utilisée pour la conversion d'images en 3D ait été simplifiée, les tests préliminaires avec le modèle TripoSR indiquent un potentiel prometteur. Si le projet visait de meilleurs résultats, il serait judicieux d'envisager l'adoption de technologies plus précises afin d'améliorer les capacités de modélisation tridimensionnelle du système.



Figure 16 : Exemple d'exportation d'une photo vers un modèle 3D

3.1.3. Concepts intégrables dans l'application

Ce chapitre explore les concepts qu'il est possible d'introduire dans l'application. Ces concepts sont conçus pour répondre à divers besoins des utilisateurs et pour exploiter les avancées technologiques dans le domaine. Bien que présentés ici comme des éléments intégrables à l'application, une discussion sur leur implémentation réelle sera abordée dans le chapitre suivant. Cette approche permet de démontrer l'étendue des capacités potentielles de l'application, tout en préparant le terrain pour une compréhension de ses fonctionnalités effectives.

A. *Concept de réemploi*

L'intégration de la réutilisation des ressources dans l'application offrirait une multitude d'avantages. D'abord, cela permettrait une économie de coûts en tirant parti des matériaux, designs, et composants existants, ce qui réduirait les dépenses nécessaires pour acquérir de nouvelles ressources. Ensuite, l'utilisation de ces ressources déjà disponibles contribuerait à une réduction notable de l'empreinte carbone, alignant ainsi les projets avec des objectifs de développement durable par la diminution des émissions de CO2 liées à la production de

nouveaux matériaux. Cette approche améliorerait également l'efficacité du processus de conception, car elle éliminerait le besoin de créer des éléments de zéro, permettant ainsi une réalisation plus rapide des projets. Enfin, la réutilisation stimulerait l'innovation en encourageant l'utilisation créative de ressources existantes, ce qui pourrait mener à des solutions de design à la fois uniques et personnalisées.

- *Définition des éléments conservables*

L'application, utilisant des capacités d'IA, aiderait l'utilisateur à identifier et à définir les éléments à conserver dans le bâtiment. Elle évaluerait l'état des matériaux et composants existants pour optimiser leur réutilisation tout en assurant la sécurité de la structure. Une base de données intelligente centraliserait les informations sur les matériaux, les designs et les composants réutilisables. Un algorithme de machine learning analyserait les exigences des nouveaux projets pour identifier les meilleures correspondances avec les éléments disponibles, assurant une correspondance optimale grâce à des techniques avancées telles que le clustering et les réseaux de neurones.

- *Outils de visualisation pour la réutilisation*

L'application proposerait des outils de visualisation tels que la réalité augmentée et les logiciels de modélisation 3D, qui permettraient aux utilisateurs de prévisualiser comment les éléments réutilisables s'intégreraient dans leurs nouveaux projets.

- *Cycle de vie et certification*

L'application s'assurerait que tous les éléments réutilisables respectent les normes de durabilité et les certifications environnementales requises. Des outils d'analyse de cycle de vie évalueraient systématiquement l'impact environnemental des matériaux et composants proposés.

- *Plateforme de partage et d'échange de ressources*

L'application pourrait disposer d'une bibliothèque où les utilisateurs peuvent partager et échanger des ressources réutilisables. Cette armoire permettrait aux entreprises et aux particuliers de trouver rapidement des matériaux dont ils ont besoin et de se débarrasser de ceux dont ils n'ont plus l'usage.

B. Concept de gestion du budget

L'utilisation de l'application pour la gestion du budget permettrait avant tout un contrôle financier amélioré. Cela faciliterait la prise de décision éclairée. L'optimisation des ressources serait un autre avantage, assurant que chaque dépense contribuerait efficacement à la valeur globale du projet. En outre, la transparence améliorée aiderait à renforcer la confiance entre les parties prenantes. Ces éléments combinés permettraient non seulement de réduire les coûts, mais aussi de stimuler l'innovation et l'efficacité tout au long du cycle de vie du projet.

- *Outils de simulation de coût dynamique*

L'application proposerait des outils de simulation qui permettraient aux utilisateurs de voir en temps réel comment différentes décisions de design affecteraient le budget global. Ces outils utiliseraient des algorithmes basés sur les données de coûts historiques et actuelles des matériaux, de la main-d'œuvre, et d'autres ressources, facilitant ainsi un calcul dynamique des coûts lors des modifications de design et permettant de rester dans le budget ou de voir ce qu'il serait possible de faire.

- *Analyse prédictive pour la gestion budgétaire*

Des modèles prédictifs seraient utilisés pour estimer les coûts futurs basés sur les tendances des coûts passés, les fluctuations du marché, et les données de projets similaires.

- *Optimisation des coûts*

Des fonctionnalités d'IA seraient implémentées pour recommander des alternatives de matériaux ou des modifications de design moins coûteuses sans compromettre la qualité du projet. Ces recommandations seraient générées par une IA qui analyserait les options de design en fonction de critères comme le coût, la durabilité, et la disponibilité des matériaux.

- *Intégration des fournisseurs et de la logistique*

L'application s'intégrerait directement avec les systèmes de gestion des fournisseurs pour obtenir des estimations de coûts à jour pour les matériaux et les services. Les plateformes de commerce électronique B2B connecteraient les utilisateurs directement avec les fournisseurs pour des devis.

- *Analyse de l'utilisation du sol*

L'application intégrerait des fonctionnalités pour analyser l'utilisation du sol et les réglementations locales. Cela aiderait les utilisateurs à planifier et à mettre un prix sur leurs projets plus efficacement, en considérant les variables régionales qui influenceraient les coûts de construction et de développement.

C. Concept de gestion de l'impact environnemental

La gestion de l'environnement dans l'application serait conçue pour aider les utilisateurs à intégrer des pratiques durables dans leurs projets de construction et d'architecture. Ce concept reposerait sur l'utilisation de technologies avancées et de données pour optimiser l'impact environnemental des projets tout en maintenant une haute qualité de conception.

Premièrement, l'adoption d'une gestion de l'environnement efficace permettrait une réduction notable de l'empreinte écologique des projets. Cela contribuerait non seulement à la protection de l'environnement, mais favoriserait également des économies à long terme sur les coûts énergétiques et de matériaux.

Deuxièmement, en facilitant l'accès à des certifications environnementales, l'application améliorerait la valeur et la crédibilité des projets. La transparence et la conformité aux normes environnementales renforceraient également la confiance des parties prenantes et pourraient ouvrir de nouvelles opportunités de marché.

- *Support multilingue et régionalisation*

L'application offrirait un support multilingue et adapterait son contenu aux différentes régions géographiques et environnementales. Cela faciliterait l'adoption de pratiques durables adaptées aux diverses réglementations et cultures environnementales, élargissant son utilité et son accessibilité à l'échelle mondiale.

- *Analyse de l'impact environnemental*

L'application intégrerait des outils d'analyse de l'impact environnemental qui permettraient aux utilisateurs d'évaluer les conséquences écologiques de leurs choix de conception. En s'appuyant sur des bases de données contenant des informations sur les matériaux et leur cycle de vie, ces outils fourniraient des estimations de l'empreinte carbone, de la consommation d'eau, et de l'efficacité énergétique des projets.

- *Simulation de la performance énergétique*

Des simulateurs de performance énergétique seraient incorporés pour prévoir l'efficacité des bâtiments une fois construits. Ces simulateurs utiliseraient des modèles pour prédire la consommation énergétique basée sur divers scénarios d'utilisation et des conditions climatiques, aidant les concepteurs à optimiser l'isolation, le chauffage, la ventilation, et d'autres systèmes critiques.

- *Outils de certification verte*

Pour faciliter l'obtention de certifications environnementales, l'application offrirait un support direct à travers des guides et des checklists qui aligneraient les projets avec les standards internationaux comme LEED, BREEAM, ou HQE. Cela comprendrait l'intégration avec les procédures de demande de certification et le suivi des critères requis à chaque étape du projet.

- *Intégration de solutions de matériaux durables*

L'application proposerait des alternatives écologiques pour les matériaux traditionnels, en fournissant des informations sur leur disponibilité, leur coût, et leur performance environnementale. Elle aiderait ainsi les utilisateurs à faire des choix éclairés qui réduiraient l'impact environnemental sans compromettre la qualité ou la durabilité du design.

- *Gestion des ressources en eau*

L'application inclurait également des outils pour la gestion optimale des ressources en eau, y compris des systèmes de récupération des eaux pluviales et de réutilisation des eaux grises. Ces outils aideraient à planifier et à mettre en œuvre des solutions qui minimiseraient la consommation d'eau tout au long du cycle de vie du bâtiment.

3.1.4. Paramètres de génération implémentés dans l'application

Dans la section précédente, des éléments hypothétiquement intégrables à l'application ont été présentés. Ce chapitre-ci, en revanche, se concentre sur les paramètres réellement implémentés.

L'application offre un large éventail de paramètres pour personnaliser les générations, qu'il s'agisse d'intégrer des instructions textuelles spécifiques, d'ajuster divers réglages ou de spécifier comment elle prend en compte les croquis.

A. Introduction aux paramètres

Afin de présenter les paramètres présents sur l'application, un croquis d'entrée similaire a été choisi pour tous les tests. Ce croquis sert de base et lors de chaque test, un seul paramètre est modifié tandis que les autres sont laissés par défaut : vide, décochés, ou réglés à 50% d'intensité. Toutefois, la précision du dessin et la précision globale sont, initialement, toutes deux réglées à 70%.



Figure 17 : Croquis servant de base pour les tests

- *Description*

Ce paramètre permet aux utilisateurs de spécifier rapidement ce qu'ils souhaitent créer en utilisant des mots clés détaillés. Ce paramètre va grandement influencer la génération des images.



Figure 18 : Comparaison de deux descriptions « small house, mountain » et « big house, beach »

- *Inspiration à l'aide de la localisation ou de mots clés*

En utilisant une localisation spécifique ou des mots clés, cet outil facilite la découverte et l'expérimentation de nouvelles idées de manière efficace. Les mots clés sélectionnés sont ensuite intégrés dans l'instruction finale pour la génération.

Par exemple, « Belgium, Mons » peut donner comme sortie « Gothic, brick, Belgium, Mons », tandis que « France, Paris » donnera plutôt « Parisian, Haussmannian architecture, stone and brick ».

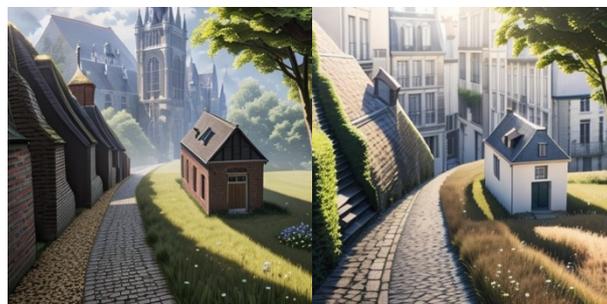


Figure 19 : Comparaison de deux inspirations « Belgium, Mons » et « France, Paris »

Il est également possible de mettre simplement des idées et l'application proposera des mots clés.

- *Inspiration à l'aide de photos*

En utilisant une ou plusieurs images comme référence, cet outil aide à explorer et tester de nouvelles idées créatives rapidement. Les mots clés pertinents sont extraits et ajoutés à l'instruction finale.



Figure 20 : Comparaison de la génération à l'aide de deux images d'inspiration, une image de l'Atomium et une image de containers

- *Saison, Vue désirée et Moment de la journée*

Ces trois paramètres offrent des options à choix multiples. Selon la sélection de l'utilisateur, une séquence spécifique de mots est ajoutée à l'instruction finale, influençant ainsi le résultat de la génération.



Figure 21 : Comparaison des quatre saisons européennes, automne, hiver, printemps et été



Figure 22 : Comparaison de quatre « moments de la journée », pleine lune, nuit étoilée, aurore boréale et aube



Figure 23 : Comparaison : vue extérieure et vue intérieure

Il est clair que le dessin initial ne permettait pas de produire une image intérieure de manière satisfaisante. Par conséquent, le paramètre global de fidélité a été exceptionnellement ajusté à son niveau maximum, tandis que la précision du dessin a été légèrement réduite.

Une bien plus grande quantité de paramètres de ce type pourrait être facilement incorporée, mais dans le cadre de ce travail de fin d'études cette liste était satisfaisante.

- *Précision du dessin*

Ce réglage est ajusté à l'aide d'un curseur. La valeur numérique obtenue détermine la puissance du dessin dans le processus de génération dirigé par ControlNet.



Figure 24 : Comparaison de la précision du dessin au minimum, 33%, 66% et au maximum

- *Précision globale*

Ce paramètre, également contrôlé par un curseur, extrait une valeur numérique qui influence le classifieur free guidance (cfg) et détermine l'intensité avec laquelle le système doit réaliser les instructions entrées.



Figure 25 : Comparaison de la précision globale au minimum et au maximum avec le prompt « red small house, blue roof »

- *Réemplois*

L'activation de cette option se fait via une case à cocher spécifique dans l'application. Lorsque cette case est cochée, l'application est programmée pour privilégier l'utilisation de matériaux

issus du réemploi. Pour ce faire, elle intègre automatiquement dans le prompt des mots clés tels que « réutilisation », « réemploi des bâtiments », « circulaire », « construction écologique » et « éco-responsable ».



Figure 26 : Comparaison avec et sans l'option réemplois cochée

- *Attention apportée au budget*

Ce paramètre est réglé à l'aide d'un curseur, extrayant une valeur numérique qui influe sur le prompt. Cette valeur est ensuite traitée par une fonction nommée « convertir_en_mot ». Cette fonction attribue une expression descriptive en fonction de la plage de valeurs renvoyée par le curseur. Par exemple, si la valeur est inférieure ou égale à 10, l'expression associée est « pas du tout d'attention ». De même, si la valeur se situe entre 20 et 30, l'expression correspondante est « indifférence légère ». La fonction couvre toute la gamme de valeurs possibles jusqu'à 100, attribuant des expressions comme « priorité très élevée » pour les valeurs supérieures à 90. Ainsi, cette fonction permet de convertir une valeur numérique en un niveau d'attention exprimé en mots avant de l'envoyer dans le prompt final.



Figure 27 : Comparaison de l'attention apportée au budget au minimum et au maximum

- *Attention apportée à l'empreinte énergétique*

Ce paramètre utilise également un curseur pour ajuster une valeur numérique, laquelle est transformée en une expression descriptive par la fonction « convertir_en_mot ». Ce processus aide à visualiser l'impact de l'empreinte énergétique de façon claire, où des niveaux variés comme « faible impact » ou « impact majeur » sont assignés en fonction des valeurs du curseur.



Figure 28 : Comparaison de l'attention apportée à l'empreinte énergétique au minimum et au maximum

B. Limitation des paramètres

Il est clair que l'application n'offre qu'une partie de ce qu'il est possible d'implémenter et il existe un fossé entre l'ambition de ces paramètres et leur réalisation effective.

En effet, face aux délais serrés pour le déploiement de l'application, il a été nécessaire de prioriser certaines fonctionnalités. Cela a conduit à une version simplifiée, où seuls les paramètres les plus critiques ont été développés. D'autres aspects, comme la gestion du budget, le réemploi des ressources et l'efficacité énergétique, ont été représentés de manière indicative, sans implémentation complète. Cette approche permet de lancer une version fonctionnelle tout en préparant le terrain pour des améliorations futures.

3.2. Expérimentation

3.2.1. Objectif de l'expérimentation

Le cœur de cette expérimentation réside dans l'étude de l'impact de l'usage de l'application développée.

Cette expérimentation examine spécifiquement cette application sur le processus de conception architecturale avec un accent sur la rénovation des bâtiments existants. L'étude cherche à déterminer si l'outil facilite le processus de conception, comment il est perçu par les utilisateurs, et quel impact il pourrait avoir sur les méthodes de travail en architecture.

3.2.2. Méthodologie de l'expérimentation

L'expérimentation prévoit d'engager un groupe diversifié de participants, incluant à la fois des diplômés et des étudiants du domaine de l'architecture. Ils seront invités à utiliser l'application sur une tablette spécialement équipée pour cette tâche. Le processus expérimental comprend plusieurs étapes. L'expérimentation peut également se dérouler à distance.

A. Session de formation

Initialement, une session de formation présentera l'application aux participants pour s'assurer qu'ils sont à l'aise avec son interface et ses fonctionnalités.

Pendant cette courte session d'explication, les participants réaliseront, assistés par un formateur, deux types de tâches. La première consistera à importer et ajouter un élément à un

bâtiment à l'aide d'un dessin à main levée. La seconde tâche exigera de convertir l'image ainsi produite en un modèle 3D.

B. Mise en pratique

Les activités décrites s'articulent autour de mises en pratique concrètes, permettant une évaluation précise de l'utilité de l'application à travers divers scénarios, y compris la rénovation et l'extension de bâtiments existants. En outre, les personnes interrogées choisissent elles-mêmes le cas sur lequel elles souhaitent travailler, ce qui favorise leur motivation et engagement, comme l'a démontré Dan Pink dans son TED Talk intitulé « The Puzzle of Motivation », soulignant l'impact positif du choix personnel sur la performance (Pink, 2009).

L'inspiration pour cette mise en pratique provient de la compétition de projets pour la reconstruction de Notre-Dame à la suite de l'incendie de 2019. À cette époque, les IA génératives n'étaient pas encore accessibles au grand public. Les propositions avaient été réalisées grâce à des logiciels de montage ainsi qu'à des logiciels de modélisation 3D. Lors de cette compétition, il était nécessaire de retracer la cathédrale comme base; une application telle que celle développée pour mon travail de fin d'études aurait pu potentiellement accélérer le processus de conception et enrichir le débat. De plus, cette inspiration provient d'un projet réalisé en 2022 dans le cours de symptomatologie de Laurent Debailleux, où une application similaire aurait également pu être utile pour communiquer rapidement des idées concernant la restauration du moulin de Blaton.

Les cas étudiés sont détaillés comme suit :

- *Cas réels avec ou sans interaction du client :*
 - *Incendie à la Cathédrale Notre-Dame de Paris : un sinistre ravage les toitures de la nef, le transept ainsi que la charpente et la flèche de l'édifice.*
 - *Moulin de Blaton : situé dans la commune de Bernissart, il est envisagé de le remettre en fonction grâce à l'énergie cinétique du vent.*
 - *Incendie à la Bourse de Copenhague : un incendie détruit entièrement la flèche emblématique de 50 mètres.*
- *Cas imaginaires avec ou sans interaction du client :*
 - *Crue en Belgique : le beffroi de Mons est transformé en phare pour prévenir l'entrée des bateaux dans les terres à la suite d'une importante inondation.*
 - *Tour de Pise : un projet envisage l'installation d'un bar sur la toiture pour équilibrer la structure tout en conservant son inclinaison.*

Pour chaque cas, il est nécessaire de proposer rapidement de deux à trois designs originaux.

- *Cas avec interaction du client :*
 - *Projet d'extension : un client souhaite ajouter une véranda couverte à sa maison.*
 - *Projet de façade : un client désire rafraîchir et isoler la façade de sa maison.*
 - *Projet de rénovation intérieure : un client veut moderniser l'intérieur de sa maison tout en préservant des éléments caractéristiques tels que les moulures et la cheminée.*

Ces discussions avec le client ont pour but de déterminer les possibilités de réalisation et d'orienter les propositions de l'architecte. Les données de chaque cas sont disponibles au point 6.4 des annexes.

3.2.3. Collecte et analyse des données

La collecte des données se fera via des questionnaires post-utilisation, des entretiens semi-structurés, et des observations directes pendant l'utilisation de l'application. Cette analyse inclura également une évaluation des difficultés rencontrées par les utilisateurs et des suggestions pour des améliorations futures de l'application.

- *Faciliter le processus de conception :*
 - *« Quels aspects de l'application avez-vous trouvé les plus utiles pour votre pratique architecturale? »*
 - *« L'application a-t-elle influencé votre processus de conception? Si oui, de quelle manière? »*

Ces questions cherchent à identifier si et comment l'IA peut faciliter le processus de conception, en mettant en lumière les fonctionnalités qui ont été particulièrement bénéfiques.

- *Perception de l'intégration des outils IA :*
 - *« Comment voyez-vous l'intégration de tels outils d'IA dans les pratiques architecturales traditionnelles? »*
 - *« Quels sont les avantages et les inconvénients potentiels? »*
 - *« En réfléchissant à votre expérience, comment les outils d'IA comme celui-ci pourraient-ils être améliorés pour mieux servir les architectes dans les phases conceptuelles et détaillées de la conception? »*
 - *« Recommanderiez-vous cette application à des professionnels ou étudiants en architecture? Pourquoi? »*

Ces questions visent à comprendre comment les utilisateurs perçoivent l'utilisation d'interfaces basées sur l'IA propulsée par un couple tablette-stylo par rapport aux outils traditionnels tels que clavier-souris.

- *Impact sur les diplômés et étudiants :*
 - *« Pouvez-vous décrire votre expérience globale avec l'application, notamment en termes d'impact sur vos projets architecturaux? »*
 - *« Quels sont, selon vous, les points forts de l'application spécifiquement pour les projets de conception architecturale? »*

Ces interrogations recherchent des informations sur l'effet global de l'IA sur le travail quotidien des architectes, tant diplômés qu'étudiants, et comment cela affecte concrètement leurs projets.

- *Suggestions d'amélioration pour l'application :*
 - *« Comment pensez-vous que l'application pourrait être améliorée pour mieux servir les besoins architecturaux? »*
 - *« Y a-t-il des fonctionnalités que vous pensez qu'il faudrait ajouter à l'application? »*

En demandant directement aux utilisateurs comment améliorer l'application, ces questions visent à comprendre les manques de l'outil et des idées pour son développement futur.

Chaque question est conçue pour obtenir des données précises qui aideront à répondre à la problématique de recherche et à discuter sur l'utilité et l'impact de l'IA dans le domaine de l'architecture.

3.3. Discussion des résultats

L'expérimentation a exploré l'utilisation de l'application développée, autour de l'intelligence artificielle, pour le processus de conception architecturale. Les données recueillies à partir de quinze expériences impliquant vingt et un-e participant-e-s ont révélé des informations précieuses sur les capacités et les limitations de cette technologie, ainsi que sur l'impact potentiel du médium d'image sur la conception architecturale.

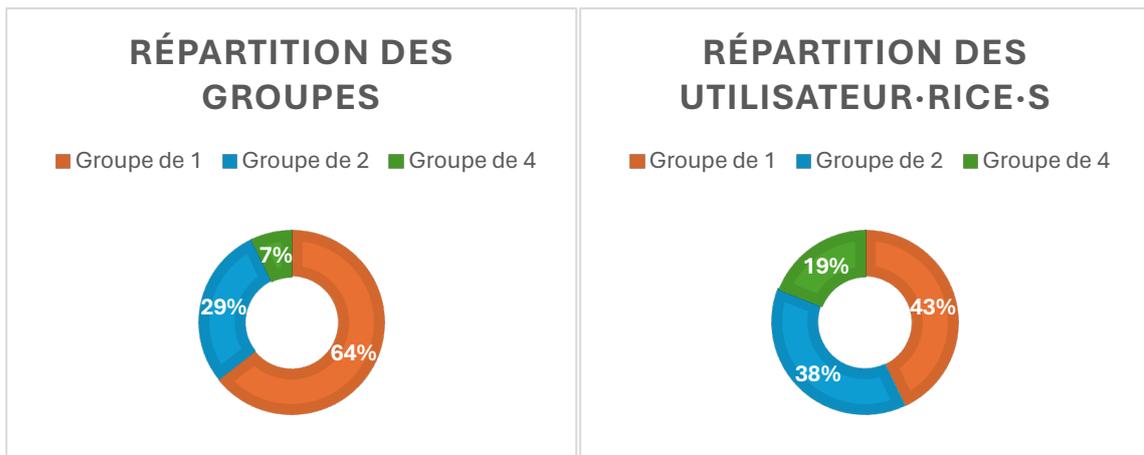


Figure 29 : Répartition des groupes au sein de l'expérimentation

Figure 30 : Répartition des utilisateur-riche-s au sein de l'expérimentation

La répartition des groupes ainsi que l'ensemble des données des expérimentations se trouvent dans les annexes au point 6.5. Il est important de noter que toutes les questions n'ont pas été posées à chaque participant, ce qui peut expliquer certaines variations dans les réponses. Par ailleurs, ChatGPT (OpenAI, 2024) a été utilisé pour le traitement et le décompte des résultats. Une plus grande précision des résultats aurait pu être obtenue avec un nombre plus élevé de participants et une durée prolongée pour chaque expérimentation.

3.3.1. Analyse des fonctionnalités de l'application

L'application étudiée présente plusieurs fonctionnalités qui ont été bien accueillies par les utilisateurs tout en révélant des limites suggérant des améliorations. Les retours des 21 utilisateurs, recueillis au travers des quinze expérimentations, offrent un aperçu des points forts et des faiblesses de l'application. Voici une analyse basée sur les retours des différentes expériences.

A. Points forts

Manipulation et dessin sur des images existantes : La fonctionnalité de manipulation et dessin directement sur des images existantes a été citée comme révolutionnaire par environ 80% des

participants. Cette capacité permet aux utilisateurs de visualiser rapidement des modifications architecturales sans nécessiter de compétences avancées en logiciels de CAO ou de montage, ni le temps normalement requis. Par exemple, dans l'expérience 14, un futur diplômé ingénieur architecte a trouvé l'application très rapide et efficace pour réaliser des transformations de façade, appréciant particulièrement de ne pas avoir à dessiner beaucoup pour générer trois propositions en moins de huit minutes.



Figure 31 : Changement de façade en bleu (avant/dessin/après)

Réglages des paramètres et visualisation en temps réel : Plus ou moins 53% des utilisateurs ont trouvé fortement agréable la possibilité d'ajuster les paramètres et de voir les modifications en temps réel. Cela a facilité la collaboration et la discussion entre les utilisateurs, comme le montre l'expérience 13 avec quatre étudiantes architectes d'intérieur qui ont apprécié la facilité avec laquelle elles pouvaient esquisser des idées et obtenir des résultats immédiats.

Exploration de configurations et styles décoratifs : L'application a été jugée utile par approximativement 24% des utilisateurs pour explorer différentes configurations et styles décoratifs. Par exemple, dans l'expérience 15, un futur diplômé ingénieur civil architecte a pu expérimenter diverses options et configurations pour la rénovation intérieure, en ajustant les paramètres pour affiner les détails et tester différents styles.

B. Limites

Interface utilisateur : Près de 29% des utilisateurs ont rencontré des difficultés avec certains aspects de l'interface utilisateur. Le bouton de réinitialisation a été perçu comme ambigu, et certains ont dû rafraîchir l'application pour contourner des bugs mineurs. L'amélioration de la stabilité et de l'intuitivité de l'interface a été jugée nécessaire. Par exemple, dans l'expérience 11, deux diplômés architectes ont trouvé l'interface peu pratique, suggérant que les paramètres et la zone de dessin devraient être accessibles sur la même page pour faciliter l'utilisation.

Options de personnalisation limitées : L'absence de certaines options de personnalisation a été signalée comme un point de frustration par environ 24% des utilisateurs. La capacité à modifier les couleurs directement via l'application a été mentionnée comme une fonctionnalité manquante. Dans l'expérience 12, un étudiant ingénieur civil architecte a exprimé le souhait d'avoir plus d'options de personnalisation telles que l'ajout de couleurs et la modification des proportions des éléments de design.



Figure 32 : Ajout d'une véranda à une petite maison (avant/dessin/après)

Performances de génération d'images : Les performances de l'application en matière de génération d'images ont également été critiquées. En effet, plus ou moins 19% des utilisateurs ont noté des retards considérables, ce qui a négativement influencé leur flux de travail. Par exemple, dans l'expérience 10, deux diplômés ingénieurs civils architectes ont trouvé que la lenteur de génération et d'importation des images de base était ennuyeuse.

Précision des outils de dessin : La précision des outils de dessin a été une limitation pour approximativement 14% des utilisateurs. Par exemple, dans l'expérience 9, un étudiant architecte a trouvé que les dessins générés ne correspondaient pas à ses attentes, et il a eu des difficultés à ajuster les paramètres pour obtenir des rendus satisfaisants.

3.3.2. Impact sur le processus créatif

L'impact de l'application sur le processus créatif des utilisateurs a été plutôt positif. Voici une analyse basée sur les retours des 15 expériences.

A. Points forts

Stimulation de la créativité : L'application a joué un rôle dans la stimulation de la créativité des utilisateurs. La possibilité de dessiner et de modifier des images existantes a permis une liberté de conception rapide et intuitive. Environ 60% des utilisateurs ont pu expérimenter avec des idées en temps réel, ce qui a, selon eux, enrichi leur processus de conception. Par exemple, dans l'expérience 14, les utilisateurs ont pu générer rapidement des propositions et visualiser des modifications, ce qui a encouragé une exploration créative fluide.



Figure 33 : Bourse de Copenhague, ajout d'une sirène et changements radicaux par rapport à la flèche originelle

Visualisation rapide et ajustements en temps réel : La capacité de visualiser rapidement des modifications et de tester différentes configurations a été un atout. Presque 70 % des utilisateurs se sont déclarés satisfaits de pouvoir ajuster les paramètres et voir les résultats immédiatement.

Outil de collaboration : L'application a également favorisé la collaboration entre les utilisateurs, en leur permettant de partager rapidement des idées et de discuter des ajustements nécessaires en temps réel. Environ 80% des participants ont trouvé que l'application favorisait la collaboration. Par exemple, dans l'expérience 13, les étudiantes architectes d'intérieur ont pu collaborer efficacement, en ajustant les dessins et en échangeant des idées instantanément, ce qui a enrichi le processus créatif collectif.

B. Limites

Retards dans la génération d'images : Les retards dans la génération d'images ont parfois entravé le flux créatif des utilisateurs. Quasiment 35% des participants ont mentionné cette limitation. Les interruptions causées par ces délais ont dérangé la concentration des utilisateurs de l'exploration créative pure.

Absence de certaines fonctionnalités : L'absence de fonctionnalités telles que l'ajout de couleurs ou d'autres éléments graphiques a limité les utilisateurs dans l'expression complète de leur vision. Plus ou moins 40% des participants ont exprimé ce besoin. Dans l'expérience 12, un utilisateur a avancé l'envie d'avoir plus d'options de personnalisation pour mieux représenter ses idées créatives.

Orientation vers des modèles prédéfinis : Grossièrement 14% des utilisateurs ont ressenti que l'application avait tendance à orienter les résultats de conception selon des modèles prédéfinis, limitant ainsi l'originalité. Cette tendance à proposer des solutions basées sur des paramètres prédéfinis a été perçue comme une contrainte, nécessitant une réflexion sur la manière de soutenir une exploration plus libre et moins guidée par l'algorithme. Par exemple, dans l'expérience 9, l'utilisateur a trouvé pénible d'obtenir des résultats qui correspondaient parfaitement à ses attentes créatives.



Figure 34 : Conversion du Beffroi de Mons en phare et ajout d'un dragon

3.3.3. Utilité dans la pratique architecturale

L'application étudiée a démontré son utilité dans la pratique architecturale à plusieurs niveaux. Les utilisateurs ont identifié divers avantages et limites, et ont suggéré des améliorations potentielles. Voici une analyse de ces aspects basée sur les retours des 15 expériences.

A. Points forts

Facilitation de la conceptualisation rapide : Un des avantages de l'application, apprécié par 70% des utilisateurs, est sa capacité à faciliter la conceptualisation rapide des idées. Ceux-ci ont pu modifier visuellement et directement des structures existantes, ce qui a permis de visualiser

rapidement des modifications et des ajouts sans passer par les étapes traditionnellement plus lentes du dessin ou de la modélisation 3D.



Figure 35 : Ajout d'hélices sur le moulin de Blaton (avant/dessin/après)

Utilité dans les présentations aux clients : L'application a été jugée excellente par presque 80% des utilisateurs pour les phases initiales de brainstorming et pour la présentation d'idées aux clients. Elle permet une visualisation facile et modifiable des propositions de conception, offrant une flexibilité qui est souvent difficile à atteindre avec des logiciels plus rigides. Cette capacité à ajuster rapidement les conceptions en fonction des retours des clients a été particulièrement appréciée.

Exploration des idées et collaboration : Selon 60% des participants, l'application favorise l'exploration des idées et la collaboration entre les utilisateurs.

B. Limites

Adaptation pour les projets de grande envergure : Certains utilisateurs ont noté que l'application pourrait ne pas être totalement adaptée pour des projets de grande envergure ou très détaillés. Approximativement 19% des participants ont mentionné cette limitation. Les limitations en termes de précision des outils de dessin et de personnalisation des paramètres ont été citées comme des barrières potentielles à une adoption plus large par les professionnels de l'architecture. Dans l'expérience 11, par exemple, les utilisateurs ont trouvé l'interface peu pratique et ont suggéré que les paramètres et la zone de dessin devraient être accessibles sur la même page.

Compatibilité avec d'autres outils de CAO : L'intégration de l'application avec d'autres outils et logiciels couramment utilisés dans le domaine de l'architecture est essentielle selon grossièrement 19% des utilisateurs. Certains utilisateurs ont mentionné que la compatibilité limitée avec les logiciels de CAO et les systèmes de gestion de projet actuels restait un obstacle majeur. Pour une adoption plus large dans les pratiques professionnelles, il serait essentiel d'améliorer cette compatibilité.

Précision et personnalisation des outils de dessin : La précision des outils de dessin et l'absence de certaines options de personnalisation ont été des points de frustration pour environ 19% des utilisateurs.

3.3.4. Autres constatations

Dans presque 90% des cas, les utilisateurs n'ont pas utilisé la fonction « image vers inspiration ». Seulement deux groupes ont essayé l'exportation vers un modèle 3D, et un petit 15% des utilisateurs ont utilisé la fonction de transformation automatique en image.

Il a été nécessaire d'aider les utilisateurs dans plus de 60% des cas pour la création de la première image, en particulier pour la configuration des paramètres de génération. Les utilisateurs non familiers avec les intelligences artificielles comme MidJourney, Stable Diffusion, ou ChatGPT ont eu particulièrement du mal à comprendre l'agencement des paramètres.

Cependant, tous ont rapidement pris en main l'application. Et la fonctionnalité permettant de transformer les chaînes d'information en prompt final, initialement conçue pour aider les utilisateurs, est devenue frustrante pour certains.

Il a également été remarqué que les utilisateurs ayant des compétences limitées en dessin ont eu davantage de difficultés à générer les idées qu'ils avaient en tête.

3.3.5. Synthèse des résultats

L'analyse des fonctionnalités de l'application, son impact sur le processus créatif et son utilité dans la pratique architecturale révèlent une perspective complète et nuancée de l'outil testé. L'application a montré son potentiel pour transformer la manière dont les diplômés et les étudiants en architecture conçoivent, visualisent et collaborent sur des projets architecturaux. Cependant, elle présente également des limites qui nécessitent des améliorations pour maximiser son efficacité et son adoption.

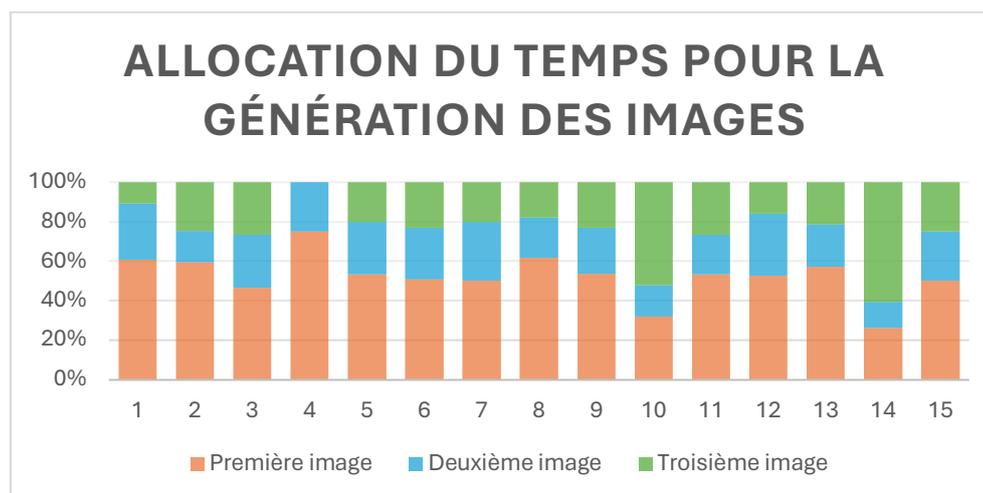


Figure 36 : Pourcentage du temps consacré pour générer la première, deuxième et troisième proposition

A. Fonctionnalités de l'application

L'application a été largement appréciée pour sa capacité à faciliter la manipulation et le dessin sur des images existantes, offrant une visualisation rapide des modifications. Les utilisateurs ont trouvé les réglages des paramètres et la visualisation en temps réel extrêmement utiles, permettant une interaction directe et fluide avec leurs conceptions. La possibilité d'explorer différentes configurations et styles décoratifs a enrichi le processus créatif.

Cependant, certaines limitations ont été identifiées. L'interface utilisateur a été perçue comme ambiguë par certains. De plus, l'absence de certaines options de personnalisation, comme la modification directe des couleurs, a été un point de frustration. Les performances de génération d'images ont également été critiquées, les délais affectant le flux de travail des utilisateurs. Enfin, la précision des outils de dessin a été jugée insuffisante pour certains projets nécessitant un haut degré de détail.

B. Impact sur le processus créatif

L'application a eu un impact positif sur la stimulation de la créativité des utilisateurs. Elle a permis une exploration rapide et intuitive des idées, facilitant la génération de propositions de design en temps réel. La visualisation immédiate des modifications et l'ajustement des paramètres ont encouragé une approche expérimentale et dynamique de la conception architecturale. De plus, l'application a favorisé la collaboration entre les utilisateurs, permettant des échanges d'idées et des ajustements en temps réel.

Cependant, les retards dans la génération d'images ont parfois entravé le flux créatif, et l'absence de certaines fonctionnalités de personnalisation a limité la capacité des utilisateurs à exprimer pleinement leurs idées. De plus, l'orientation vers des modèles prédéfinis a été perçue comme une contrainte à l'originalité, nécessitant des fonctionnalités permettant une exploration plus libre et moins guidée par l'algorithme.

C. Utilité dans la pratique architecturale

L'application a démontré son utilité dans la pratique architecturale, notamment pour la conceptualisation rapide des idées et les présentations aux clients. Les utilisateurs ont pu modifier visuellement et directement des structures existantes, ce qui a facilité la communication des propositions de design et l'obtention de retours immédiats. L'application a également favorisé la collaboration, permettant une exploration collective des idées et une amélioration du processus créatif.

Cependant, certaines limitations ont été notées concernant son adaptation pour des projets de grande envergure. La précision des outils de dessin et l'absence de certaines options de personnalisation ont été des obstacles à son adoption complète. De plus, la compatibilité limitée avec d'autres outils de CAO et de gestion de projet a été identifiée comme un obstacle.

D. Suggestions d'amélioration

- *Pour maximiser l'utilité et l'efficacité de l'application, plusieurs améliorations sont recommandées :*
 - *Amélioration de la compatibilité avec les logiciels de CAO : Il est essentiel d'améliorer la compatibilité de l'application avec d'autres outils de CAO et de gestion de projet. L'intégration de fonctionnalités avancées, telles que le support des formats de fichier standard et la possibilité d'exporter des travaux dans ces formats, élargirait son applicabilité.*
 - *Ajout de fonctionnalités de personnalisation : L'ajout de fonctionnalités permettant une plus grande personnalisation et un contrôle plus fin des paramètres serait bénéfique. Intégrer des couleurs, des textures, et la possibilité de modifier l'échelle et les proportions des éléments de design directement dans l'application améliorerait significativement l'expérience utilisateur.*
 - *Optimisation de l'interface utilisateur : Une amélioration de l'interface utilisateur est essentielle pour rendre l'application plus intuitive et moins sujette à des erreurs de manipulation. Par exemple, regrouper les paramètres et la zone de dessin sur une même page améliorerait l'efficacité et réduirait les erreurs de manipulation.*

- *Renforcement de la stabilité et des performances* : Il est crucial de renforcer la stabilité et la performance de l'application pour minimiser les interruptions dans le flux de travail. Optimiser le temps de réponse et la fluidité de l'application augmenterait son utilité pratique, surtout pour des projets de grande envergure nécessitant une grande précision et une manipulation rapide des données.
- *Personnalisation et flexibilité des prompts* : La fonctionnalité permettant de transformer les chaînes d'information en prompt final a été initialement conçue pour aider les utilisateurs, mais elle est devenue frustrante pour certains. Pour améliorer cette expérience, il serait bénéfique de permettre une personnalisation plus flexible des prompts. Les utilisateurs devraient pouvoir ajuster et affiner les prompts générés automatiquement, avec des suggestions et des prévisualisations en temps réel, afin de mieux correspondre à leurs intentions créatives et d'éviter toute frustration.
- *Reconceptualisation de l'application en mode pseudo-automatique* : Au lieu de se baser principalement sur un mode automatique, l'application pourrait être redéveloppée pour fonctionner autour d'un mode pseudo-automatique. Ce mode offrirait un équilibre entre automatisation et contrôle utilisateur. Les utilisateurs auraient la possibilité de guider le processus de génération avec des interventions manuelles. Cette approche pourrait également réduire les frustrations liées aux limitations des algorithmes automatiques en offrant plus de contrôle et de flexibilité aux utilisateurs.

E. Conclusion des résultats

Le chapitre précédent a énoncé des recommandations pour améliorer l'application. Il est intéressant de noter que l'application a été utilisée pour générer des propositions visuelles pour la reconstruction de Notre-Dame de Paris, comme illustré par l'image ci-dessous. Cet exercice fait écho à la compétition architecturale qui a suivi l'incendie de la cathédrale en 2019. À l'instar des nombreuses propositions diffusées à l'époque, les rendus générés par l'application montrent la capacité des outils numériques à susciter des débats et à influencer la perception publique.

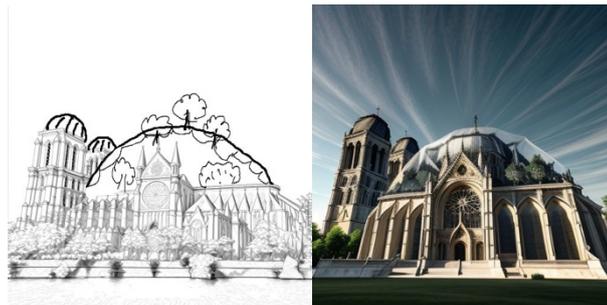


Figure 37 : Projet de reconstruction de Notre-Dame de Paris

En conclusion, bien que l'application ait montré un potentiel pour enrichir la pratique architecturale, des améliorations sont nécessaires pour en optimiser l'usage. Des ajustements dans l'interface et les fonctionnalités, ainsi que des améliorations des performances et de la compatibilité, pourraient favoriser son adoption et son efficacité dans le domaine de l'architecture. Les retours des utilisateurs lors des différentes expériences fournissent une base solide pour orienter les futures évolutions de l'application.

4. Conclusion

Cette étude visait à examiner l'impact de l'usage de l'intégration de l'intelligence artificielle pour la production d'images enrichissant le processus conceptuel en architecture, en se concentrant sur la rénovation du bâti existant.

Les résultats des expérimentations ont révélé que l'usage de l'IA favorise une meilleure collaboration entre architectes et avec les clients, enrichissant ainsi le processus de conception. En effet, même dans des projets de rénovation complexes, comme la reconstruction de la cathédrale Notre-Dame de Paris, l'IA s'est illustrée comme un activateur de discussion.

L'importance de cette recherche réside dans sa contribution à la compréhension de l'IA comme outil facilitateur dans la pratique architecturale. En combinant des méthodes quantitatives et qualitatives, cette étude apporte des perspectives sur l'efficacité et les défis liés à l'utilisation de l'IA en architecture.

Ces défis, notamment la dépendance technologique accrue et les préoccupations relatives à la sécurité des données, nécessitent une vigilance pour garantir une intégration sûre et efficace de l'IA. De plus, l'évolution rapide de ces technologies exige une adaptation continue des compétences des professionnels du secteur.

Cependant, certaines limites de l'étude doivent être soulignées : elle n'a été réalisée qu'avec 15 expérimentations relativement courtes et l'application utilisée peut être grandement améliorée. Les participants commençaient seulement à prendre en main l'application lorsque l'analyse prenait fin. Il est donc nécessaire de développer une deuxième version de l'application et de mener de nouvelles recherches. Celles-ci devraient se pencher sur l'impact de l'usage de l'IA dans des projets de plus grande envergure et explorer davantage son intégration dans la formation académique des architectes. Des études supplémentaires pourraient examiner les implications éthiques et pratiques de cette technologie, comme la protection des droits de propriété intellectuelle dans les créations générées par l'IA, ainsi que l'impact potentiel de ces technologies sur l'emploi et les pratiques professionnelles dans le secteur de l'architecture.

L'intelligence artificielle représente une avancée prometteuse pour la conception architecturale. Sa gestion prudente et le développement continu de cette technologie sont essentiels pour maximiser ses avantages tout en minimisant les risques. L'avenir de l'architecture, enrichi par l'IA, promet collaboration, innovation et création partagée. En fin de compte, l'intégration réussie de l'IA dépendra de notre capacité à équilibrer potentiel technologique et respect des valeurs humaines fondamentales.

L'IA renforcera les efforts humains en matière de rénovation, notamment en fournissant des solutions rapides et précises en cas de catastrophes naturelles, permettant ainsi une évaluation et une réparation d'urgence des structures. Dans les zones dévastées par des conflits, l'IA optimisera la planification et la mise en œuvre des projets de reconstruction. De plus, elle sera un atout précieux pour la rénovation des bâtiments vieillissants, un énorme défi compte tenu des objectifs imminents de neutralité carbone. Grâce à ses capacités d'analyse et de modélisation avancées, l'IA accélérera les processus de conception et de rénovation, tout en assurant une

meilleure qualité et durabilité des constructions. Ainsi, elle deviendra un outil essentiel pour soutenir les professionnels du secteur face aux défis actuels et futurs de l'architecture.

Pour conclure, ce travail m'a permis de voir des facettes de l'architecture qui n'ont pas ou peu été abordées lors de mes études. J'ai découvert les implications de l'intelligence artificielle dans la conception architecturale, en particulier dans le contexte de la rénovation des structures existantes. Cette expérience m'a confronté aux défis et aux opportunités liés à l'intégration de nouvelles technologies dans un domaine en constante évolution. En travaillant de manière pratique avec des outils d'IA, j'ai non seulement enrichi mes compétences techniques, mais aussi développé une compréhension des dynamiques de collaboration entre architectes et clients. Ce projet m'a également permis de dialoguer avec d'autres acteurs du secteur. Le développement de l'application m'a forcé à rechercher les meilleures solutions et à intégrer de manière efficace certains retours des utilisateurs pour améliorer l'outil. Ce long processus de développement n'est pas décrit ici, mais il était nécessaire pour obtenir des résultats concluants. Enfin, cette expérience a montré l'importance d'une approche équilibrée entre innovation technologique et respect des valeurs humaines fondamentales, une leçon essentielle pour ma future carrière professionnelle.

5. Bibliographie

- Šijaković, M. & Bajić, T., 2017. Architectural dimension of sustainability: Re-establishing the concept of recycling.
- Altomonte, S., 2009. Environmental Education for Sustainable Architecture.
- Anakin.ai, 2023. *Stable Diffusion vs GAN: Let's Compare!*. [En ligne] Available at: <https://anakin.ai/blog/stable-diffusion-vs-gan/>
- Anker, J. P., Esmir, M., Brinkø, B. J. & Christian, T., 2018. *10 questions concerning sustainable building renovation*. s.l.:s.n.
- Arno, P., 2023. *When Artificial Intelligence becomes creative collaborator: redefining the role of the architect*. s.l.:s.n.
- Bavarian, B., 1988. *Introduction to neural networks for intelligent control*, s.l.: s.n.
- Bennett, J., 1960. *Papers presented at the May 3-5, 1960, western joint IRE-AIEE-ACM computer conference*, s.l.: s.n.
- Biancardo, S. A., Capano, A., Oliveira, S. G. d. & Tibaut, A., 2020. *Integration of BIM and Procedural Modeling Tools for Road Design*, s.l.: s.n.
- Bommasani, R. et al., 2021. *On the Opportunities and Risks of Foundation Models*, s.l.: s.n.
- Borrmann, A., König, M., Koch, C. & Beetz, J., 2018. *Building Information Modeling*, s.l.: s.n.
- Buchanan, B. G., 2005. *A (Very) Brief History of Artificial Intelligence*, s.l.: s.n.
- Campbell, M., Hoane, A. J. & Hsu, F.-h., 2002. *Deep Blue*, s.l.: s.n.
- Ching, F., 2014. *Architecture Form, Space and order*. s.l.:s.n.
- Coburn, A., Vartanian, O. & Chatterjee, A., 2017. *Buildings, Beauty, and the Brain: A Neuroscience of Architectural Experience*, s.l.: s.n.
- Comrie, L. J., 1946. *The application of commercial calculating machines to scientific computing*, s.l.: s.n.
- Daemei, A. B. & Safari, H., 2018. *Factors affecting creativity in the architectural education process based on computer-aided design*, s.l.: s.n.
- Dixon, J. R., Simmons, M. K. & Cohen, P., 1984. *An Architecture for Application of Artificial Intelligence to Design*. s.l.:s.n.
- Esquivel, G. B., 1995. *Teacher behaviors that foster creativity*, s.l.: s.n.
- European Union, 2024. *Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 on the energy performance of buildings*. [En ligne] Available at: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/1275/oj>
- Fasko, D., 2001. *Education and Creativity*, s.l.: s.n.
- Feigenbaum, E., 1961. *Soviet cybernetics and computer sciences, 1960*, s.l.: s.n.
- Ferrucci, D. et al., 2010. *Building Watson: An Overview of the DeepQA Project*, s.l.: s.n.
- Gehry, F. & Cohen, J.-L., 2003. *Frank Gehry, Architect*. s.l.:s.n.
- Giedion, S., 1954. *Space, Time and Architecture*. s.l.:s.n.
- Gilson, A. et al., 2023. *How Does ChatGPT Perform on the United States Medical Licensing Examination? The Implications of Large Language Models for Medical Education and Knowledge Assessment*, s.l.: s.n.
- Greeno, J., 1980. *Psychology of learning, 1960–1980: One participant's observations*, s.l.: s.n.
- Haotian-liu, 2023. *LLaVA*. [En ligne] Available at: <https://github.com/haotian-liu/LLaVA>
- Harapan, A., Indriani, D., Rizkiya, N. F. & Azbi, R. M., 2021. *Artificial Intelligence in Architectural Design*, s.l.: s.n.
- Harguess, J. D. & Ward, C., 2022. *Is the Next Winter Coming for AI? Elements of Making Secure and Robust AI*, s.l.: s.n.

- Hessler, M., 2017. *[The Triumph of "Stupidity" : Deep Blue`s Victory over Garri Kasparov. The Controversy about its Impact on Artificial Intelligence Research].*, s.l.: s.n.
- Hocevar, D., 1981. *Measurement of creativity: review and critique.*, s.l.: s.n.
- Hong, Y. et al., 2024. Large Reconstruction Model for Single Image to 3D.
- Hsu, F.-h., 1999. *IBM's Deep Blue Chess grandmaster chips*, s.l.: s.n.
- Huang, J. et al., 2021. *On GANs, NLP and Architecture: Combining Human and Machine Intelligences for the Generation and Evaluation of Meaningful Designs*, s.l.: s.n.
- HuggingFace, 2023. *Stable Diffusion*. [En ligne]
Available at: <https://www.hugging-face.org/huggingface-stable-diffusion/>
- Ji, L., 2022. *Application and Optimization of Artificial Intelligence Technology in Architectural Design*, s.l.: s.n.
- Kim2091, 2021. *AnimeSharp*. [En ligne]
Available at: <https://openmodeldb.info/models/4x-AnimeSharp>
- LeCun, Y., Bengio, Y. & Hinton, G. E., 2015. *Deep Learning*, s.l.: s.n.
- Lin, C.-Y. & Xu, N., 2021. *Extended TAM model to explore the factors that affect intention to use AI robotic architects for architectural design*, s.l.: s.n.
- llyasviel, 2023. *Let us control diffusion models!*. [En ligne]
Available at: <https://github.com/llyasviel/ControlNet#>
- Loneragan, H., 2020. *Pools, Carparks and Ball-Pits: Or Why the Notre Dame Restoration Competition is a Meme*. s.l.:s.n.
- Louapre, D., 2019. *Une intelligence artificielle peut-elle être créative ?*. [En ligne]
Available at: <https://scienceetonnante.com/2019/01/23/ia-creativite/>
- Lykon, 2023. *DreamShaper*. [En ligne]
Available at: <https://civitai.com/models/4384?modelVersionId=252914>
- Magdziak, M., 2019. Flexibility and Adaptability of the Living Space to the Changing Needs of Residents.
- Martek, I. et al., 2018. The Sustainability Narrative in Contemporary Architecture: Falling Short of Building a Sustainable Future.
- Mays, W., 1952. *Can Machines Think?*, s.l.: s.n.
- McCarthy, J., 1959. *Recursive functions of symbolic expressions and their computation by machine, Part I*, s.l.: s.n.
- Metz, C., 2021. *Genius Makers: The Mavericks Who Brought AI to Google, Facebook, and the World*. s.l.:s.n.
- Mistral AI, 2024. *Frontier AI in your hands*. [En ligne]
Available at: <https://mistral.ai>
- MLK, 2023. *Comparison between Diffusion Models vs GANs (Generative Adversarial Networks)*. [En ligne]
Available at: <https://machinelearningknowledge.ai/comparison-between-diffusion-models-vs-gans-generative-adversarial-networks/>
- Mnih, V. et al., 2015. *Human-level control through deep reinforcement learning*, s.l.: s.n.
- MUMONS, 2023. *Épisode 79 - Chat GPT et architecture*. [En ligne]
Available at: <https://soundcloud.com/mumons/episode-79-chat-gpt-et-architecture?in=mumons/sets/sciences-arts-et-curiosites-3>
- Naveed, H. et al., 2023. *A Comprehensive Overview of Large Language Models*, s.l.: s.n.
- Newton, D., 2019. *Generative Deep Learning in Architectural Design*, s.l.: s.n.
- Nijstad, B., Dreu, C. D. D., Rietzschel, E. & Baas, M., 2010. *The dual pathway to creativity model: Creative ideation as a function of flexibility and persistence*, s.l.: s.n.
- Nishant, R., Kennedy, M. & Corbett, J., 2020. *Artificial intelligence for sustainability: Challenges, opportunities, and a research agenda*, s.l.: s.n.
- Niu, W. & Sternberg, R., 2002. *Contemporary Studies on the Concept of Creativity: the East and the West*, s.l.: s.n.
- Onur, Z. & Nouban, F., 2019. *BIM Software in Architectural Modelling*, s.l.: s.n.

- OpenAI, 2024. *GPT-3.5, GPT-4, GPT-4-Turbo, GPT-4o*. [En ligne]
Available at: <https://chat.openai.com/>
- Pink, D., 2009. *The puzzle of motivation*. [En ligne].
- Purcell, A. & Gero, J., 1998. *Drawings and the design process*, s.l.: s.n.
- Rosenblatt, F., 1960. *Perceptron Simulation Experiments*, s.l.: s.n.
- Saad, B. S., Al-Einen, E. A. & Elazm, F. M. A., 2016. *The Impact of Using Smart Architecture on Architectural Creativity*, s.l.: s.n.
- Selby, E. C., Shaw, E. J. & Houtz, J. C., 2005. *The Creative Personality*, s.l.: s.n.
- Silva, A. M. d., 2023. *In a Digital/Artificial Intelligence time can sketches still be useful for Design Process?*, s.l.: s.n.
- Silva, I. et al., 2017. *The Perceptron Network*, s.l.: s.n.
- Silver, D. et al., 2017. *Mastering the game of Go without human knowledge*, s.l.: s.n.
- Stability AI, 2024. *Stable Cascade*. [En ligne]
Available at: <https://huggingface.co/stabilityai/stable-cascade>
- Stability AI, 2024. *Stable Diffusion*. [En ligne]
Available at: <https://stability.ai/stable-image>
- Svigals, J., 1959. *IBM 7070 data processing system*, s.l.: s.n.
- Thomas, V. & López, R., 2015. *Global Increase in Climate-Related Disasters*. s.l.:s.n.
- Timmis, J., Andrews, P., Owens, N. D. L. & Clark, E., 2008. *An interdisciplinary perspective on artificial immune systems*, s.l.: s.n.
- VAST-AI-Research, 2024. *TripoSR*. [En ligne]
Available at: <https://github.com/VAST-AI-Research/TripoSR>
- Volk, R., Stengel, J. & Schultmann, F., 2014. *Building Information Modeling (BIM) for existing buildings — Literature review and future needs*.
- Yaneva, A., 2009. *The Making of a Building : a pragmatist approach to architecture*. s.l.:s.n.
- Yaneva, A. & Latour, B., 2008. «Give Me a Gun and I Will Make All Buildings Move»: *An ANT's View of Architecture*. s.l.:s.n.
- Zhang, J., Seet, B.-C. & Lie, T., 2015. *Building Information Modelling for Smart Built Environments*, s.l.: s.n.
- Zhang, Z. et al., 2020. *Architectural Implications of Graph Neural Networks*, s.l.: s.n.

6. Annexes

6.1. Fondements théoriques sur l'intelligence artificielle

6.1.1. Brève histoire de l'IA

L'histoire de l'intelligence artificielle entraîne bien au-delà des codes et des algorithmes. Depuis les premières ébauches d'assistants mécaniques dans les œuvres d'Homère, jusqu'aux discussions philosophiques de René Descartes et Gottfried Wilhelm Leibniz sur la possibilité de machines raisonnantes, l'histoire de l'IA est riche en fantaisies. Ce n'est que durant la dernière moitié du siècle dernier que la communauté de l'IA a pu construire des machines expérimentales pour tester des hypothèses sur les mécanismes de la pensée et du comportement intelligent.

La contribution des écrivains de science-fiction comme Jules Verne et Isaac Asimov a également joué un rôle dans la conceptualisation de l'IA, inspirant des recherches dans ce domaine. Ces récits, allant des robots de L. Frank Baum à la créature de Mary Shelley dans Frankenstein, ont non seulement captivé l'imagination du public mais ont également fait réfléchir sur les caractéristiques humaines et sur la manière dont il interagit avec les machines.

A. Les origines philosophiques et fictionnelles de l'IA

Au cœur de l'intelligence artificielle repose une base de philosophie, de fiction, et d'imagination, illustrant la fascination humaine pour la création de formes d'intelligence non humaines. Philosophes et écrivains ont joué des rôles essentiels dans la conceptualisation précoce des machines intelligentes. Des penseurs tels que René Descartes et Gottfried Wilhelm Leibniz ont exploré l'idée de machines capables de raisonnement. Ils ont utilisé la possibilité d'appareils raisonnants non pas tant comme un objectif réaliste, mais comme un dispositif littéraire pour interroger la nature de l'intelligence humaine.

Dans le même temps, la fiction a joué un grand rôle en lançant l'idée de l'IA dans l'imaginaire collectif. Les œuvres de Jules Verne et d'Isaac Asimov, ou d'autres, n'ont pas seulement divertit des générations mais ont aussi semé une graine d'inspiration pour de vraie recherche en IA. Ces récits, peuplés de robots et d'êtres artificiellement créés, comme le Golem de la tradition juive ou le monstre de Frankenstein de Mary Shelley, ont vu la complexité de création de telles intelligences, leurs implications éthiques et sociétales ainsi que leur impact sur la société.

B. Les premières réalisations et expérimentations

Les balbutiements de l'IA transportent à une époque où les rêves de la théorie prenaient enfin corps dans la pratique. Le Turc, un automate prétendument capable de jouer aux échecs, a captivé l'imagination publique et suggéré que la création de machines pensantes n'était pas uniquement reléguée au domaine de la science-fiction. Bien que ces premiers appareils fussent essentiellement des tours de magie, ils ont toutefois joué un rôle dans la conceptualisation de

l'IA, en montrant que le jeu d'échecs pouvait être abordé par des moyens mécaniques, alors qu'il est intellectuel (Buchanan, 2005).

C. Moments clés de l'IA

Les années 1940 ont vu les premières discussions sérieuses sur la possibilité que des machines imitent ou reproduisent certaines formes de comportement intellectuel humain. La guerre et l'après-guerre ont stimulé un intérêt pour les calculatrices mécaniques et les premiers ordinateurs. L'utilisation de calculatrices commerciales et de machines à cartes perforées pour le calcul scientifique en sont la preuve. Ces outils ont prouvé que les tâches numériques pouvaient être automatisées (Comrie, 1946).

Alan Turing, dans les années 1950, a posé la question de savoir si les machines peuvent penser, conduisant à la conceptualisation du célèbre test de Turing. Cette interrogation a continué de guider la recherche en IA, poussant les scientifiques à concevoir des machines capables de simuler des aspects du comportement intelligent humain. Bien que le débat sur la pensée machine reste sur la table, cette question a ouvert la voie à des avancées dans le développement d'IA (Mays, 1952).

L'année 1956 est souvent citée comme l'année de naissance de l'IA en tant que discipline académique, principalement en raison de la conférence de Dartmouth organisée par John McCarthy, Marvin Minsky, Nathaniel Rochester et Claude Shannon. Cette conférence a catalysé les investissements et les recherches dans le domaine, encouragés par le développement de langages de programmation spécifiques à l'IA comme LISP (LISt Processing) en 59. LISP a été conçu pour faciliter les expérimentations avec le système Advice Taker, posant les bases du traitement des déclarations déclaratives et impératives ainsi que la manifestation de « bon sens » dans l'exécution des instructions (McCarthy, 1959).

La fin des années 1950 et le début des années 1960 ont été témoins du développement rapide des ordinateurs, facilitant ainsi de nouvelles avancées en IA. Des systèmes tels que l'IBM 7070 ont illustré le potentiel croissant des ordinateurs dans l'exploration de l'IA (Svigals, 1959).

Parallèlement, des conférences internationales ont souligné l'importance de la collaboration et du partage des connaissances dans ce champ naissant (Bennett, 1960).

Le perceptron, inventé par Frank Rosenblatt en 1957, représente l'un des premiers modèles de réseau neuronal artificiel. Conçu pour simuler un processus de reconnaissance de motifs et de perception électronique basé sur le fonctionnement de la rétine, le perceptron a marqué une étape dans le développement des modèles d'apprentissage automatique et de l'intelligence artificielle. Ce modèle était en réalité un seul neurone avec une capacité de décision binaire. Bien que le perceptron ait été initialement limité dans sa capacité à traiter des motifs non linéairement séparables, il a influencé l'évolution des techniques d'apprentissage profond et des architectures de réseau neuronal plus avancées (Silva, et al., 2017).

Dès 1957, des expériences de simulation du perceptron ont montré sa capacité d'apprentissage, de reconnaissance et de classification spontanée de stimuli visuels. Ces travaux, utilisant l'ordinateur IBM 704 pour simuler l'apprentissage perceptuel, ont démontré la viabilité du modèle de perceptron en tant que modèle théorique du cerveau (Rosenblatt, 1960).

Au début des années 1960, les observations de Feigenbaum sur la recherche soviétique en cybernétique et sciences informatiques révèlent l'essor de ces domaines, soulignant leur importance (Feigenbaum, 1961). Cette période a vu également la psychologie de l'apprentissage

se transformer, passant de modèles de changement comportemental à des analyses complexes de la mémoire. Cette évolution témoigne de l'engagement croissant pour comprendre les processus cognitifs sous-jacents (Greeno, 1980).

En 1997, le monde des échecs et de l'intelligence artificielle a été témoin d'un événement historique. L'ordinateur Deep Blue d'IBM a battu le champion du monde d'échecs en titre, Garry Kasparov. Cette victoire a marqué un tournant dans la recherche sur l'IA, prouvant la capacité des machines à surpasser les humains dans des tâches complexes nécessitant une profonde réflexion stratégique. Deep Blue était équipé de 480 puces VLSI spécialisées, lui permettant d'évaluer jusqu'à 200 millions de positions par seconde. Sa conception combinait une recherche d'échecs sur puce unique, un système massivement parallèle, une évaluation complexe des positions et l'utilisation efficace d'une base de données de parties de grands maîtres (Campbell, et al., 2002) (Hsu, 1999).

Cette rencontre historique a soulevé d'importantes questions concernant l'avenir de l'IA et son impact sur des domaines dominés par l'intelligence humaine. Certains ont considéré la victoire de Deep Blue comme un repère dans la recherche en IA, tandis que d'autres l'ont vue comme une impasse, arguant que la supériorité de l'ordinateur reposait uniquement sur sa puissance de calcul et non sur une vraie intelligence artificielle. Ces débats ont mis en lumière différentes approches et interprétations de l'IA. Ils ont aussi montré les défis futurs pour atteindre des systèmes capables de mimétisme cognitif ou de créativité semblables à l'intelligence humaine (Hessler, 2017).

En 2011, le système informatique Watson d'IBM a lui aussi marqué un tournant dans le domaine de l'intelligence artificielle en remportant le jeu télévisé « Jeopardy ! » contre les plus grands champions de l'émission. Cette victoire n'a pas uniquement démontré la capacité de Watson à comprendre le langage naturel et à répondre avec précision et rapidité à des questions complexes mais elle a également mis en lumière le potentiel d'application de ces technologies au-delà des jeux, notamment dans les secteurs de la santé, de la finance et du service client. L'architecture DeepQA sous-jacente à Watson, développée après trois ans de recherche intensive par une équipe d'environ 20 chercheurs, a été nécessaire pour atteindre des performances comparables à celles d'experts humains sur le plateau de « Jeopardy ! » (Ferrucci, et al., 2010).

En 2015, Yann LeCun, Yoshua Bengio, et Geoffrey E. Hinton, ont souligné que l'apprentissage profond avait révolutionné la manière dont les algorithmes apprennent à partir de grandes quantités de données. L'apprentissage profond a démontré une capacité exceptionnelle à découvrir des structures complexes, ce qui a permis un grand pas en avant dans des domaines tels que la reconnaissance d'images, la transcription de la parole en texte, et le traitement du langage naturel. Ces progrès ont transformé la recherche en IA mais ont eu aussi un impact sur diverses applications industrielles et scientifiques (LeCun, et al., 2015).

En 2016, AlphaGo, développé par DeepMind de Google, a battu le champion du monde de Go, Lee Sedol, dans un match historique. Ce succès repose sur l'utilisation de réseaux de neurones profonds et d'algorithmes de recherche arborescente, formés par apprentissage supervisé à partir de parties de grands maîtres humains (Silver, et al., 2017).

En 2022, Joshua D. Harguess et C. Ward ont souligné les périodes dites d'hiver de l'IA, caractérisées par une réduction significative du financement et de l'intérêt pour l'IA, en raison d'attentes non satisfaites. Ces périodes ont notamment été observées au début des années 1970 et à la fin des années 1990 et début 2000. Les auteurs ont discuté de la possibilité d'un nouvel

hiver de l'IA, soulignant l'importance de développer une IA sûre et robuste (Harguess & Ward, 2022).

Novembre 2022, ChatGPT, développé par OpenAI est lancé et représente une avancée significative dans le domaine de l'intelligence artificielle, capable de générer des réponses humaines cohérentes à partir d'instructions utilisateur. Une étude a évalué ses performances sur les examens de licence médicale des États-Unis, démontrant que ChatGPT performe au niveau d'un étudiant de troisième année de médecine. Cela marque un progrès notable dans les modèles de traitement du langage naturel. Cette capacité à fournir un raisonnement logique et un contexte dans la majorité de ses réponses souligne le potentiel de ChatGPT comme outil (Gilson, et al., 2023).

6.1.2. Définitions clés et concepts

L'intelligence artificielle se trouve à l'aube d'une révolution, poussée par des avancées significatives dans plusieurs domaines clés. Parmi ces innovations, les réseaux de neurones, le deep learning, et l'apprentissage par renforcement se positionnent comme piliers de la recherche actuelle en IA. Ces technologies transforment notre approche des défis computationnels, en permettant à des machines de comprendre, d'apprendre et de prendre des décisions de manière autonome. Ce chapitre se consacre à explorer ces concepts fondamentaux, dévoilant leur potentiel pour façonner l'avenir de l'intelligence artificielle.

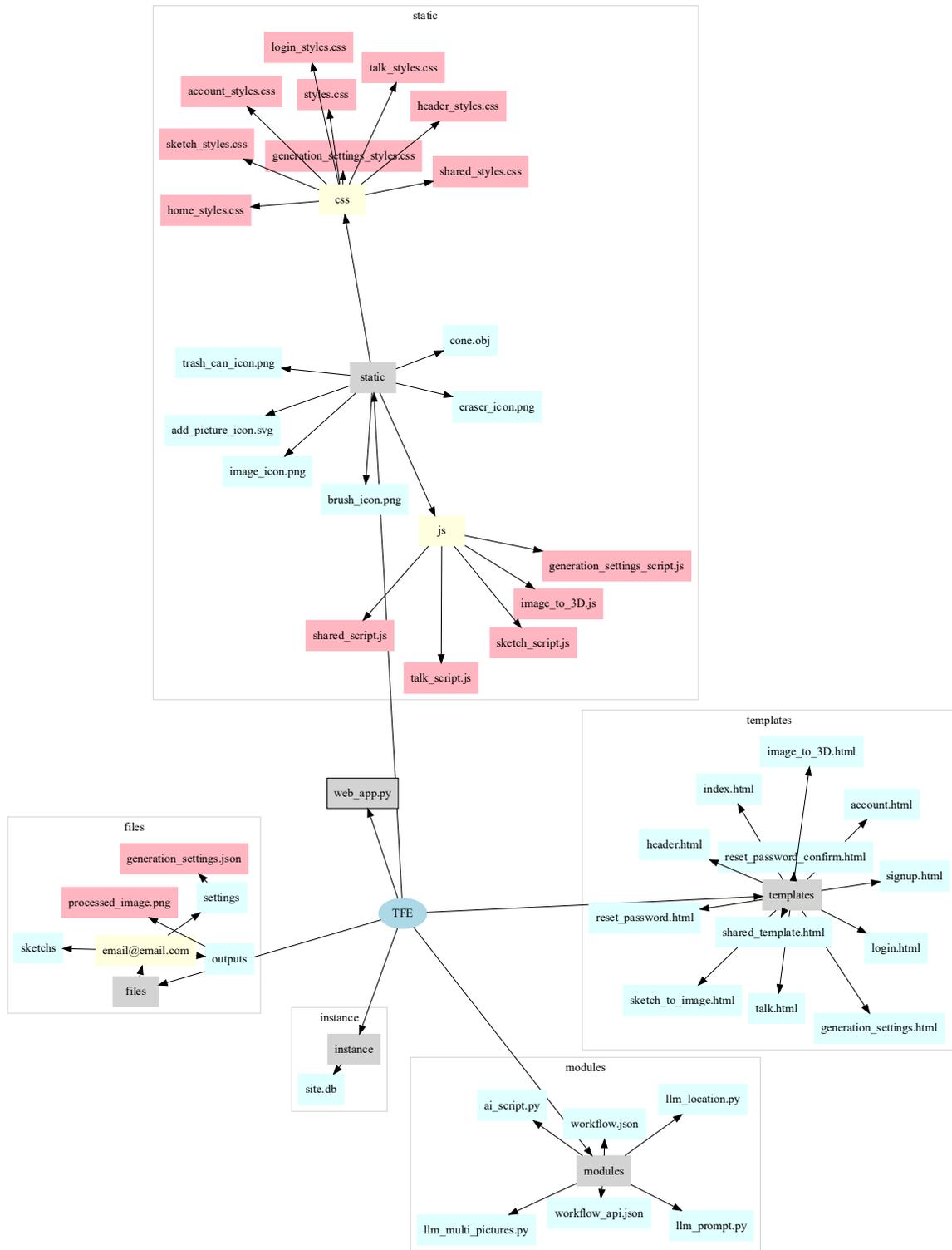
Les réseaux de neurones simulent la capacité d'apprentissage du cerveau humain, facilitant le développement de systèmes de contrôle intelligents capables d'améliorer continuellement leurs performances à travers l'apprentissage dynamique. Ces architectures distribuées parallèlement représentent une avancée fondamentale pour diverses applications, depuis la reconnaissance d'images jusqu'à la prédiction de séquences temporelles (Bavarian, 1988).

Le deep learning, une branche spécifique des réseaux de neurones, a transformé notre capacité à analyser des données complexes, permettant l'extraction de caractéristiques et de motifs avec un minimum d'intervention humaine. Son application s'étend à de nombreux domaines, offrant des solutions innovantes pour le traitement du langage naturel, la reconnaissance visuelle et au-delà (Zhang, et al., 2020).

L'apprentissage par renforcement permet à un agent d'apprendre à effectuer des tâches en maximisant une récompense. Cette méthode a été appliquée avec succès dans des domaines variés, y compris les jeux, la robotique, et la navigation automatique. Les progrès dans ce domaine ont été catalysés par l'intégration de l'apprentissage profond, ouvrant la voie à des systèmes capables de performances à niveau humain dans des tâches complexes (Mnih, et al., 2015).

Les avancées récentes incluent les architectures de réseaux neuronaux spécialisées telles que les Graph Neural Networks (GNNs), qui traitent efficacement les données structurées en graphes. De plus, l'apprentissage fédéré et l'apprentissage par transfert ouvrent de nouvelles voies pour le partage de connaissances et l'adaptation de modèles à des tâches spécifiques avec une quantité limitée de données d'entraînement. Ces avancées continuent de pousser les frontières de ce qui est possible dans le domaine de l'IA, ouvrant la voie à des innovations et des améliorations significatives dans les années à venir.

6.2. Arborescence du code



6.3. Choix des technologies

- *Stable Diffusion 1.5*



Image 1 : 1,22 secondes Image 2 : 0,89 secondes Image 3 : 0,89 secondes Image 4 : 0,90 secondes
Image 5 : 0,90 secondes Image 6 : 0,93 secondes Image 7 : 0,92 secondes Image 8 : 0,90 secondes
Image 9 : 0,90 secondes Image 10: 0,91 secondes

Moyenne pour 10 images : $(1,22 + 0,89 + 0,89 + 0,90 + 0,90 + 0,93 + 0,92 + 0,90 + 0,90 + 0,91) / 10$
= 0,936 secondes

- *Stable Diffusion 2.1*





Image 1 : 2,02 secondes Image 2 : 1,73 secondes Image 3 : 1,72 secondes Image 4 : 1,71 secondes
 Image 5 : 1,71 secondes Image 6 : 1,71 secondes Image 7 : 1,71 secondes Image 8 : 1,72 secondes
 Image 9 : 1,73 secondes Image 10: 1,72 secondes

Moyenne pour 10 images : $(2,02 + 1,73 + 1,72 + 1,71 + 1,71 + 1,71 + 1,71 + 1,72 + 1,73 + 1,72) / 10$
 = 1,748 secondes

- *Stable Diffusion SDXL*

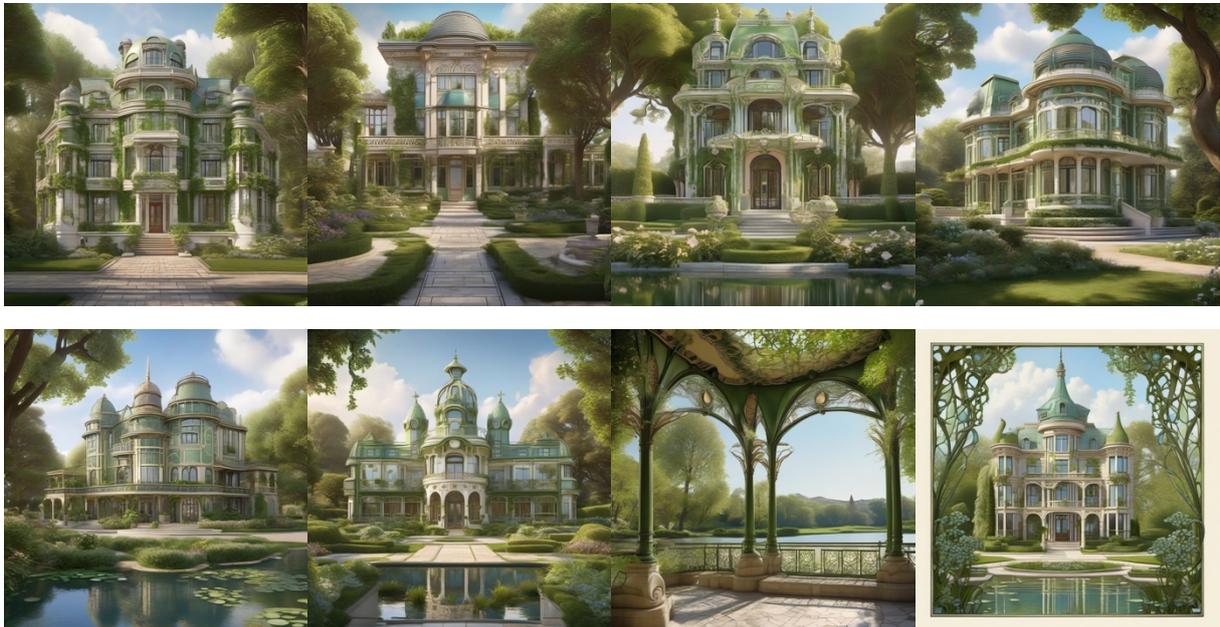




Image 1 : 4,29 secondes Image 2 : 4,13 secondes Image 3 : 4,13 secondes Image 4 : 4,08 secondes
 Image 5 : 4,06 secondes Image 6 : 4,08 secondes Image 7 : 4,08 secondes Image 8 : 4,06 secondes
 Image 9 : 4,09 secondes Image 10: 4,13 secondes

Moyenne pour 10 images : $(4,29 + 4,13 + 4,13 + 4,08 + 4,06 + 4,08 + 4,08 + 4,06 + 4,09 + 4,13) / 10$
 = 4,113 secondes

- *Stable Diffusion Cascade*



Image 1 : 5,58 secondes Image 2 : 5,01 secondes Image 3 : 5,01 secondes Image 4 : 5,00 secondes
 Image 5 : 5,01 secondes Image 6 : 5,03 secondes Image 7 : 4,99 secondes Image 8 : 5,00 secondes
 Image 9 : 5,00 secondes Image 10: 5,00 secondes

Moyenne pour 10 images : $(5,58 + 5,01 + 5,01 + 5,00 + 5,01 + 5,03 + 4,99 + 5,00 + 5,00 + 5,00) / 10$
 = 5,063 secondes

6.4. Données de base pour les expérimentations

Voici les données de base pour les expérimentations. Parfois, elles sont retouchées avec Photoshop Generative Fill ou, dans certains cas, entièrement générées par Stable Diffusion. La forme carrée garantit un meilleur cadrage dans l'application, mais en réalité, toute image pourrait servir de base.

- *Cathédrale Notre-Dame de Paris*



Figure 38 : Notre-Dame de Paris, vue latérale [user21908677, https://www.freepik.com/premium-photo/notre-dame-cathedral-church-side-view-paris-france_12337924.htm]



- *Moulin de Blaton*



- *Bourse de Copenhague*



Figure 39 : Bourse de Copenhague [Dominique G, <https://www.alovelyworld.com/danemark/htmfr/copenhague-bourse-clocher.htm>]



- *Beffroi de Mons*



Figure 40 : [Jean-Pol GRANDMONT, [https://fr.wikipedia.org/wiki/Beffroi_de_Mons#/media/Fichier:0_Mons_-_Beffroi_\(1\).JPG](https://fr.wikipedia.org/wiki/Beffroi_de_Mons#/media/Fichier:0_Mons_-_Beffroi_(1).JPG)]



- *Tour de Pise*



Figure 41 : Tour de Pise [GETTY IMAGES VIA ISTOCK, <https://www.nationalgeographic.fr/tourisme/la-tour-de-pise-est-en-train-de-se-redresser>]



- *Projet d'extension*



- *Projet de façade*



- *Projet de rénovation intérieure*



6.5. Données des résultats

- *Cathédrale Notre-Dame de Paris*
 - *Expérimentation 1 – future diplômée ingénieure civil architecte*

Sketchs finaux :



Propositions finales :



Chronologie des interactions :

0:00 à 1:00 : L'utilisatrice commence à dessiner les toitures de la cathédrale.

1:10 : Début de la configuration des paramètres de génération.

2:30 : L'utilisatrice ajuste la fidélité globale (global fidelity) et reçoit des propositions, mais elle n'est pas satisfaite des résultats.

8:30 : Progression lente, l'utilisatrice n'a pas encore produit de deuxième image.

10:30 : Toujours pas de deuxième image générée.

11:30 : L'utilisatrice exprime de la frustration.

12:30 : Abandon temporaire.

13:00 : Reprise avec le dessin du dôme, utilisant plusieurs épaisseurs de traits comme proposé.

16:00 : L'utilisatrice expérimente avec les paramètres et s'amuse avec les différentes options.

Retour de l'utilisatrice :

L'utilisatrice a commencé par dessiner les toitures de la cathédrale et a rapidement ajusté les paramètres de génération. Bien qu'elle ait baissé la fidélité globale pour obtenir des propositions, elle n'était pas satisfaite des résultats initiaux. Le processus a été marqué par une progression lente, sans génération de deuxième image satisfaisante jusqu'à la fin de l'expérience.

L'utilisatrice a exprimé des difficultés à dessiner sur une tablette, trouvant cela moins instinctif. Malgré ces difficultés, elle a noté que l'application permet de générer de nouvelles idées en explorant différentes options de dessin. À un moment, elle a abandonné temporairement avant de reprendre en dessinant un dôme avec plusieurs épaisseurs de traits.

Elle a mentionné que l'application devrait être plus transparente et justifier les choix de l'IA, et a également signalé un bug lié à l'ajout de photos sans fichier de dessin existant. Cependant, elle a trouvé que plus elle utilisait l'application, plus elle était satisfaite, même si elle restait incertaine sur la façon d'intégrer cet outil dans un projet réel.

○ *Expérimentation 2 – diplômé architecte*

Sketchs finaux :



Propositions finales :



Chronologie des interactions :

0:00 à 1:30 : L'utilisateur commence à dessiner, mais rencontre des problèmes pour mettre en place l'image de base.

2:00 : Intervention de l'expérimentateur pour guider l'utilisateur sur l'impact de la grosseur du trait sur le résultat final.

2:40 : L'utilisateur n'a pas encore généré de propositions.

4:00 : L'utilisateur passe aux paramètres de génération, mais éprouve des difficultés à écrire.

6:50 : Retour à la partie dessin, car l'utilisateur n'obtenait pas les résultats souhaités.

7:50 : Toujours sur la première image.

8:50 : Perte de la proposition souhaitée.

9:40 : Début du deuxième dessin, avec des difficultés initiales.

13:40 : Guidance pour ajouter des éléments dans la description et utiliser les mots clés de manière plus efficace.

14:40 : Fin de l'expérience.

Retour de l'utilisateur :

L'utilisateur a trouvé l'application assez fluide, en particulier grâce à l'utilisation de mots clés et d'images. Cependant, il a exprimé le souhait d'avoir plus d'options, comme la possibilité d'ajouter des couleurs. Il a noté que l'IA réinterprétait parfois les images de manière inattendue, ce qui pouvait être frustrant. La précision des mots clés a été jugée très pertinente pour construire des concepts, mais il a mentionné que l'outil de dessin pourrait bénéficier de plus de fonctionnalités pour éviter des transformations excessives.

Il a trouvé l'expérience didactique et utile pour générer des idées concrètes, contrairement à la recherche d'inspiration sur des plateformes comme Pinterest. Il a également noté que l'application pourrait être plus utile pour des idées concrètes que pour l'exploration de concepts abstraits.

L'utilisateur a apprécié la possibilité d'importer un bâtiment via une photo, soulignant que cela permettait d'obtenir rapidement un rendu visuel. Concernant les IA en architecture, il a exprimé des craintes, mais aussi une reconnaissance de leur potentiel pour gagner du temps et offrir des rendus stylés en peu de temps. Il a conclu que l'application pourrait être un outil pertinent, surtout pour ceux qui ne maîtrisent pas le dessin, et qu'elle pourrait offrir un avantage concurrentiel pour les entreprises qui l'adoptent.

- *Moulin de Blaton*
 - *Expérimentation 3 – futur diplômé ingénieur civil architecte*

Sketchs finaux :



Propositions finales :



Chronologie des interactions :

0:00 à 4:00 : L'utilisateur commence à dessiner mais manque d'idées et éprouve des difficultés. Après cinq minutes, il parvient à mettre en place sa première proposition.

6:00 : L'utilisateur continue de travailler sur le premier dessin. Il reçoit de l'aide pour surmonter ses difficultés, notamment parce qu'il pensait laisser le bâtiment dessiné à l'endroit du toit ce qui aurait entravé la génération.

8:00 : Intervention de l'expérimentateur pour demander une proposition plus ambitieuse, avec des détails supplémentaires.

11:00 : L'utilisateur commence enfin le troisième dessin, après avoir pris quatre minutes pour finaliser la deuxième proposition.

15:20 : Fin de l'expérience.

Retour de l'utilisateur :

L'utilisateur a apprécié la possibilité de dessiner à la main et l'utilisation de mots clés. Il a trouvé que dessiner à la main était agréable, car cela permettait une liberté créative souvent absente des outils numériques classiques où les lignes sont souvent droites et rigides. Cependant, il a noté que le logiciel ne permettait pas vraiment de vérifier la faisabilité d'un projet, étant plus orienté vers la recherche et le développement de concepts.

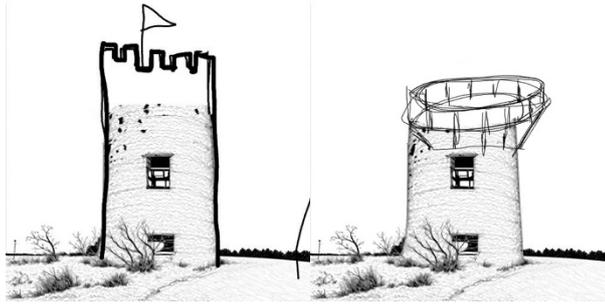
Il a mentionné que le logiciel ne comprenait pas toujours ce qu'il voulait dessiner, malgré l'utilisation de mots clés et le réglage de la précision du croquis. Il a trouvé cette fonctionnalité quelque peu obscure et a suggéré qu'une meilleure explication de ce paramètre serait utile. Il a également suggéré qu'il serait bénéfique de pouvoir importer plusieurs images, transformant ainsi l'application en un outil de dessin avant tout.

En termes de potentiel d'utilisation, l'utilisateur n'est pas certain qu'il utiliserait ce type de logiciel en tant qu'architecte. Il estime qu'il faudrait plus de temps pour se familiariser avec l'outil et voir son utilité réelle dans un projet. Cependant, il reconnaît que l'application peut être très utile pour découvrir de nouvelles idées, en particulier si elle est gratuite ou proposée à un prix abordable (jusqu'à 20 euros par mois). Il pense que les jeunes architectes pourraient être plus enclins à utiliser cette application que leurs homologues plus âgés.

Ce qui l'a particulièrement impressionné, c'est la possibilité d'importer rapidement un bâtiment via une photo, permettant d'obtenir un rendu en seulement quelques secondes.

○ *Expérimentation 4 – diplômée ingénieure civil architecte*

Sketchs finaux :



Propositions finales :



Chronologie des interactions :

0:00 à 1:00 : L'utilisatrice commence à se familiariser avec l'interface et les outils de dessin de l'application.

1:00 à 3:00 : Elle commence à dessiner une structure de base et à ajuster les paramètres de génération.

3:00 à 6:00 : Premières propositions générées, mais l'utilisatrice n'est pas entièrement satisfaite des résultats et effectue des ajustements supplémentaires.

6:00 à 10:00 : Elle se concentre sur l'amélioration de la première proposition, ajustant les détails et les paramètres pour affiner le rendu.

10:00 à 12:00 : Elle tente de démarrer une deuxième proposition mais rencontre des difficultés pour obtenir les résultats souhaités rapidement.

12:00 à 15:00 : L'utilisatrice continue à travailler sur les propositions, mais le temps limite l'opportunité de compléter une troisième proposition.

Retour de l'utilisatrice :

L'utilisatrice a trouvé l'expérience très satisfaisante, soulignant que l'application est très intuitive comparée à d'autres logiciels. Malgré certaines limitations, elle a noté que l'outil permet de réaliser des projets rapidement, ce qui est un avantage considérable pour les architectes qui passent souvent des heures à visualiser leurs concepts. La possibilité de générer un rendu en seulement deux secondes est particulièrement appréciée.

Si elle était architecte, elle utiliserait clairement cette application. Elle a trouvé l'outil amusant et puissant, surtout dans un contexte de présentation avec un client. La capacité de transformer un

simple dessin en un modèle 3D avec une seule image a été perçue comme un atout majeur de l'application.

En conclusion, bien qu'elle n'ait pas eu le temps de compléter trois propositions en 15 minutes, son expérience globale avec l'application a été positive. Elle a reconnu le potentiel de l'outil pour faciliter et accélérer le processus de conception architecturale, tout en offrant une manière intuitive et engageante de visualiser des projets.

○ *Expérimentation 5 – diplômé ingénieur civil architecte*

Sketchs finaux :



Propositions finales :



Chronologie des interactions :

0:00 à 1:00 : L'utilisateur commence à se familiariser avec l'interface et les outils de dessin de l'application.

1:00 à 10:00 : L'utilisateur complète son premier dessin, découvrant les fonctionnalités de l'application et ajustant les paramètres pour affiner son croquis.

10:00 à 12:00 : Finalisation du deuxième dessin, avec des ajustements basés sur les propositions générées par l'application.

12:00 à 15:00 : Troisième dessin complété, malgré quelques frustrations avec les fonctionnalités de l'application.

Retour de l'utilisateur :

L'utilisateur a trouvé le background de l'application un peu gênant et a noté la persistance d'un bug lors de l'importation d'images. Il a mentionné que tout le monde ne dessine pas assez bien, et a suggéré d'avoir un clavier afin de faciliter l'utilisation.

L'aspect le plus utile de l'application pour sa pratique architecturale était la transformation initiale des images en croquis. Il a apprécié la diversité des propositions générées car cela

permettait d'explorer des idées de manière aléatoire en utilisant peu de mots clés, même si au début cela l'a un peu agacé.

L'utilisateur a eu des difficultés à dessiner précisément et à se faire comprendre par l'application. Il a mentionné que ce n'était peut-être pas entièrement un problème du logiciel, mais cela affectait son intention de l'utiliser, surtout si l'application ne comprenait pas ce qu'il voulait faire.

Pour un projet personnel, il utiliserait l'application avec prudence, reconnaissant que les dessins générés peuvent parfois ne pas fonctionner en réalité. Il a souligné l'importance de rester critique envers les résultats et de l'utiliser principalement comme source d'inspiration.

Sur les IA en général, il trouve cela intéressant mais pense qu'il reste beaucoup de travail à faire. Il a noté que les solutions générées par les IA peuvent être esthétiquement plaisantes, mais ne prennent pas en compte les aspects philosophiques, écologiques ou environnementaux.

Pour améliorer l'application, il a suggéré d'intégrer des contraintes comme les normes Eurocode et de générer des propositions plus logiques en fonction de l'environnement.

En conclusion, l'utilisateur pense que l'application est moderne et agréable, et qu'elle peut grandement aider à trouver des idées, offrant une base intéressante pour développer davantage les concepts.

- *Bourse de Copenhague*
 - *Expérimentation 6 - diplômé ingénieur civil architecte*

Sketchs finaux :



Propositions finales :



Chronologie des interactions :

0:00 à 2:00 : L'utilisateur n'a pas encore généré d'image.

2:30 : L'utilisateur continue de paramétrer l'application. Il rencontre des difficultés pour déterminer les paramètres adéquats.

3:00 : Intervention de l'expérimentateur pour guider l'utilisateur en suggérant d'ajouter une localisation dans les mots clés.

4:00 : Aucune image n'a encore été générée.

5:20 : Génération des premières images.

6:40 : Fin de l'exploration de la première image.

7:40 : L'utilisateur réfléchit à une nouvelle idée et décide de créer une horloge.

9:00 : Le temps de dessin est relativement élevé car l'utilisateur prend soin de bien dessiner. L'utilisateur rencontre des difficultés à trouver les mots justes pour décrire sa demande. L'utilisation du clavier semble contribuer à cette difficulté. À ce stade, aucune deuxième image n'a été générée.

10:00 : L'utilisateur exprime sa satisfaction par rapport aux résultats obtenus avec l'horloge et la sirène.

11:30 : L'utilisateur opte pour une intervention directe en dessinant un bureau et un logement avec des formes géométriques simples. Cependant, il oublie de dessiner les fenêtres, ce qui pourrait poser des problèmes si la précision du dessin n'est pas réduite par la suite.

12:20 : Début de l'entrée des nouveaux paramètres. L'expérimentateur guide l'utilisateur en suggérant d'ajouter des traits sur l'image.

14:00 : Fin de l'expérience.

Retour de l'utilisateur :

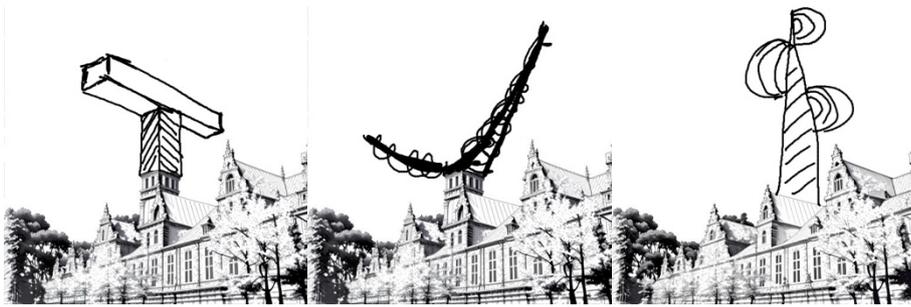
Le fait de pouvoir dessiner à la main sur une image existante est apprécié, bien que cela ne permette pas toujours d'obtenir exactement ce que l'on veut. Néanmoins, la possibilité de dessiner est considérée comme un aspect agréable de l'application.

L'application incite à effectuer de nombreux tests de différents éléments pour voir les résultats obtenus. Cela pousse à expérimenter beaucoup plus de choses que si l'on devait réaliser un véritable projet. Cette approche expérimentale est facilitée par les fonctionnalités de l'application.

L'application donne envie de continuer à générer des images, car elles semblent conçues pour être esthétiquement plaisantes. Cependant, il est difficile de percevoir l'impact concret de ces images. Les deux onglets disponibles sont utiles, mais il manque une indication claire sur la sauvegarde des travaux. Toutes les images générées ont une certaine uniformité, ce qui peut faire perdre en richesse et diversité, donnant un résultat lisse et homogène.

- *Expérimentation 7 – diplômé ingénieur civil architecte et futur diplômé ingénieur civil architecte*

Sketchs finaux :



Propositions finales :



Chronologie des interactions :

0:00 à 2:00 : Les utilisateurs commencent à se familiariser avec l'interface et les outils de dessin de l'application. Ils explorent rapidement les différentes fonctionnalités.

2:00 à 5:00 : Réalisation du premier dessin.

5:00 à 8:00 : Création de la deuxième proposition. Ils expérimentent avec différents mots clés et styles de dessin, obtenant rapidement un rendu qui leur plaît.

8:00 à 10:30 : Réalisation de leur troisième proposition.

Retour des utilisateurs :

Les utilisateurs ont trouvé l'application extrêmement amusante et intuitive. Ils ont pu compléter trois propositions en moins de onze minutes, démontrant une grande aisance et rapidité avec les outils mis à leur disposition. Leur expérience a été marquée par une exploration enthousiaste et créative, montrant la capacité de l'application à engager les utilisateurs de manière ludique et efficace.

Leur rapide adaptation à l'interface et leur capacité à générer des propositions satisfaisantes en peu de temps soulignent l'efficacité de l'application pour des utilisateurs qui recherchent à la fois rapidité et créativité. Ils ont particulièrement apprécié la diversité des options de dessin et de paramétrage, qui leur ont permis d'explorer différentes idées sans se sentir limités.

En conclusion, l'expérience des utilisateurs démontre que l'application peut être un outil puissant et agréable pour ceux qui cherchent à explorer rapidement de nouvelles idées architecturales.

Leur satisfaction et leur enthousiasme témoignent du potentiel de l'application pour transformer le processus de conception en une activité à la fois productive et divertissante.

- *Beffroi de Mons*
 - *Expérimentation 8 – diplômé ingénieur civil architecte*

Sketchs finaux :



Propositions finales :



Chronologie des interactions :

0:00 à 1:30 : L'utilisateur commence à dessiner, mais rencontre des problèmes pour mettre en place l'image de base.

2:00 : Intervention de l'expérimentateur pour guider l'utilisateur sur l'impact de la grosseur du trait sur le résultat final.

2:40 : L'utilisateur n'a pas encore généré de propositions.

3:30 : Il compare son dessin avec le fichier original.

4:00 : Passage aux paramètres de génération, avec des difficultés pour écrire.

5:00 : Rappel de l'expérimentateur d'ajouter « beffroi de Mons » dans les mots clés pour des résultats pertinents.

6:50 : Retour à la partie dessin car les résultats ne sont pas satisfaisants.

7:50 : Toujours sur la première image.

8:50 : Perte de la proposition souhaitée.

9:40 : Début du deuxième dessin, avec des difficultés initiales.

13:40 : Guidance de l'expérimentateur pour ajouter des éléments dans la description plutôt que dans la section réservée aux mots clés.

14:40 : Fin de l'expérience.

Retour de l'utilisateur :

L'utilisateur a trouvé l'expérience assez fluide grâce à la combinaison des mots clés et des images. Il a apprécié la simplicité de cette approche, bien qu'il aurait préféré avoir plus d'options pour l'édition des images, notamment la possibilité d'ajouter des couleurs. Il a été frustré par le fait que l'IA réinterprète l'image au lieu de simplement déplacer des éléments spécifiques comme il le souhaitait.

Les mots clés ont été jugés très pertinents pour construire des concepts et des matériaux, mais l'utilisateur a souhaité pouvoir apporter plus de nuances. Il a trouvé agréable de pouvoir esquisser, même si les transformations automatiques de l'IA étaient parfois excessives. Plus d'outils pour contrôler ces transformations auraient été appréciés.

Interrogé sur son amusement, l'utilisateur a trouvé l'expérience plus didactique que la recherche d'idées sur Pinterest, notamment parce qu'elle offrait des idées plus concrètes. Pour des conceptions architecturales, il a trouvé cela beaucoup plus pertinent.

Il a exprimé qu'il aurait utilisé ce type d'application pendant ses études pour obtenir rapidement des idées à partir de bâtiments existants, bien que cela puisse parfois produire des résultats imprévisibles.

En termes d'améliorations, il a suggéré de donner plus de liberté sur le dessin et de vivre avec son temps en intégrant des outils modernes comme les IA. Il a reconnu que les rendus générés étaient stylés et rapides, ce qui en fait un outil pertinent pour gagner du temps et inspirer des idées.

En conclusion, l'utilisateur voit un potentiel significatif dans cette application, surtout si elle permet plus de contrôle et de personnalisation dans le processus de création.

○ *Expérimentation 9 – étudiant architecte*

Sketchs finaux :



Propositions finales :



Chronologie des interactions :

0:00 à 1:30 : L'utilisateur commence à se familiariser avec l'interface et les outils de dessin de l'application. Il essaie d'importer une image de base du beffroi de Mons.

3:00 à 5:00 : Ajustement des paramètres de génération. Il se débat avec les options disponibles, essayant de comprendre leur impact sur le rendu final.

5:00 à 7:30 : Première proposition générée.

9:00 à 11:00 : Deuxième proposition générée.

12:30 à 14:00 : Troisième proposition générée. Malgré quelques améliorations, l'utilisateur est globalement déçu par la qualité et la précision des dessins produits.

Retour de l'utilisateur :

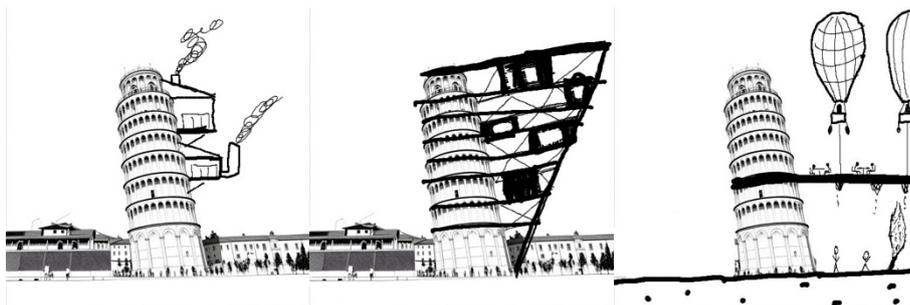
L'utilisateur a trouvé que l'application n'était pas très bien faite, exprimant une déception générale par rapport aux résultats obtenus. Les propositions générées ne correspondaient pas à ses attentes, et il a rencontré des difficultés à ajuster les paramètres pour obtenir des rendus satisfaisants.

Malgré sa déception, il reconnaît clairement le potentiel d'une telle application. Il voit comment elle pourrait devenir un outil puissant pour les architectes si certaines améliorations étaient apportées. En particulier, il a noté que l'interface pourrait être plus intuitive et les options de paramétrage plus claires et efficaces.

En conclusion, bien que l'expérience n'ait pas été entièrement positive, l'utilisateur voit une opportunité significative dans le développement futur de cette application pour améliorer la précision et la qualité des rendus architecturaux.

- *Tour de Pise*
 - *Expérimentation 10 – diplômé ingénieur civil architecte et diplômé ingénieur civil architecte*

Sketchs finaux :



Propositions finales :



Chronologie des interactions :

0:00 à 1:30 : Les utilisateurs commencent à se familiariser avec l'application, mais rencontrent des difficultés initiales.

1:30 à 2:30 : Ils continuent leur dessin, essayant de comprendre les outils disponibles.

2:30 à 3:30 : Ils ajustent les détails de leur dessin et explorent les options de l'application.

3:30 à 8:00 : Ils entrent les mots clés pour générer la première image.

8:00 à 12:00 : Ils travaillent sur la deuxième proposition, qui se passe relativement bien et génère des résultats satisfaisants.

12:00 à 25:00 : La troisième proposition, impliquant des montgolfières, devient un défi. Ils rencontrent de nombreux problèmes et frustrations, rendant cette partie de l'expérience longue et difficile.

Retour des utilisateurs :

Les utilisateurs ont apprécié le fait qu'il n'était pas nécessaire de réaliser des dessins détaillés. Ils ont noté qu'il suffit de faire un croquis rapide pour obtenir un rendu immédiat en quelques secondes. Bien que l'application ne soit pas parfaite et que les résultats ne soient pas toujours exacts, cela donne des résultats aléatoires intéressants.

La deuxième proposition s'est bien passée pour eux, générant des résultats satisfaisants et sans trop de difficultés. Cependant, la troisième proposition, impliquant des montgolfières, a été très difficile. Ils ont rencontré de nombreux problèmes et frustrations, ce qui a rendu cette partie de l'expérience particulièrement longue et compliquée.

Ils ont trouvé que c'était parfois frustrant de devoir faire plusieurs itérations pour obtenir un résultat proche de leurs attentes, mais ont reconnu que c'était très utile pour générer des idées et réaliser des avant-projets. L'application pourrait être particulièrement utile dans un stage de « pré-esquisse », surtout pour ceux qui n'ont pas suivi de cours de dessin intensif. Elle s'adresse donc à un public qui ne sait pas bien dessiner, agissant comme une extension du crayon.

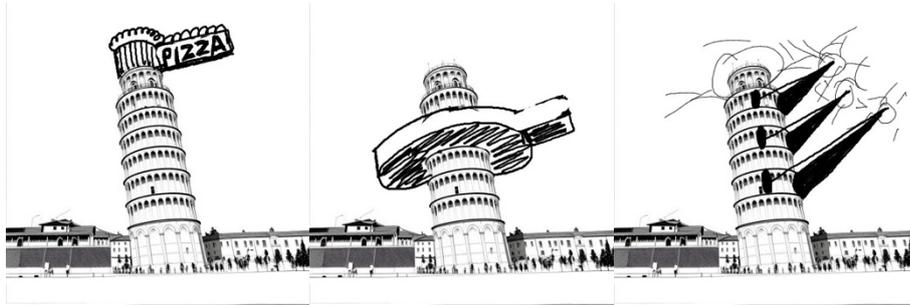
Concernant les IA en architecture, ils trouvent cela intéressant. Une IA ne peut pas tout faire seule, mais elle permet de gagner beaucoup de temps. Ils pensent que l'intégration de l'IA dans les applications donnerait un avantage concurrentiel aux entreprises.

Enfin, ils ont souligné l'importance de penser en 3D en architecture, et ont apprécié la capacité de l'application à aider dans ce processus de réflexion tridimensionnelle. En conclusion, bien que

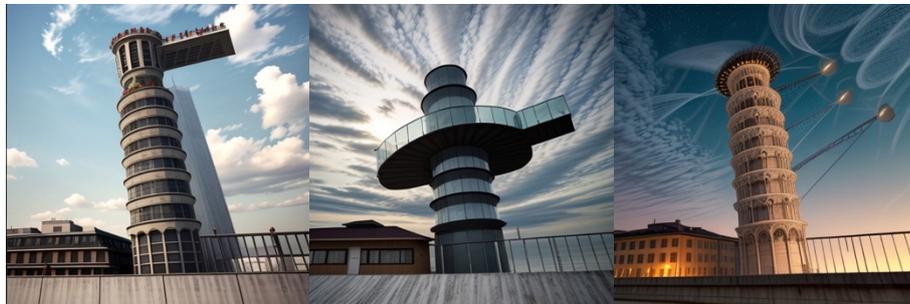
l'application ait ses limites, elle montre un grand potentiel pour assister les architectes dans la phase de conception et d'esquisse.

- *Expérimentation 11 – diplômée architecte et diplômé architecte*

Sketchs finaux :



Propositions finales :



Chronologie des interactions :

0:00 à 4:00 : Ils importent une image de la tour de Pise et commencent à dessiner les premiers contours.

4:00 à 6:00 : Les utilisateurs ajustent les paramètres de génération pour affiner leur dessin.

6:00 à 8:00 : Première proposition générée. Les utilisateurs prennent note des résultats et discutent des ajustements nécessaires.

8:00 à 10:00 : Deuxième proposition. Ils rencontrent des difficultés à jongler entre les paramètres et la zone de dessin, ce qui ralentit leur progression.

10:00 à 12:00 : Finalisation du deuxième dessin avec des ajustements mineurs.

12:00 à 15:00 : Troisième proposition générée. Malgré quelques améliorations, les utilisateurs trouvent l'interface peu pratique.

Retour des utilisateurs :

Les deux architectes ont trouvé que l'application avait du potentiel, mais ont rencontré des frustrations liées à l'interface utilisateur. Ils ont souligné que les paramètres et la zone de dessin devraient être accessibles sur la même page pour faciliter l'utilisation.

Actuellement, le besoin de naviguer entre différentes pages rend le processus moins fluide et plus chronophage.

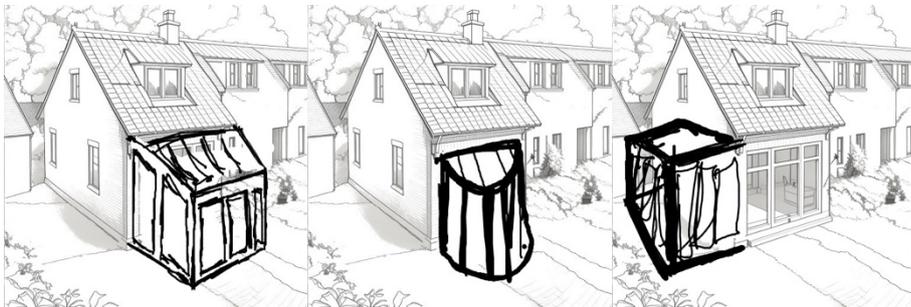
Ils ont également suggéré la possibilité de masquer les éléments qu'ils ne souhaitent pas modifier, afin de se concentrer sur les parties du dessin qu'ils veulent ajuster. Cette fonctionnalité rendrait l'application plus efficace et plus intuitive.

Malgré ces points négatifs, les utilisateurs ont reconnu le potentiel de l'application pour assister les architectes dans la phase de conception et d'esquisse. Ils voient en elle un outil précieux qui, avec quelques améliorations, pourrait grandement faciliter le processus de création architecturale.

En conclusion, bien que l'expérience ait été mitigée en raison des limitations de l'interface, les utilisateurs perçoivent l'application comme un outil prometteur qui pourrait devenir indispensable avec les ajustements appropriés.

- *Projet d'extension*
 - *Expérimentation 12 – étudiant ingénieur civil architecte*

Sketchs finaux :



Propositions finales :



Chronologie des interactions :

0:00 à 2:20 : Il dessine rapidement les premiers contours de la véranda.

2:20 à 5:00 : Ajustement des paramètres de génération et première proposition générée. L'utilisateur exprime des idées non conventionnelles et change fréquemment d'option.

5:00 à 8:00 : Deuxième proposition avec des modifications importantes. L'utilisateur teste des configurations inhabituelles et génère un résultat satisfaisant.

8:00 à 9:30 : Troisième proposition générée en moins de deux minutes. L'utilisateur mélange différents éléments pour créer un design éclectique, puis finalise et révisé les propositions avec un accent sur les détails artistiques.

Retour de l'utilisateur :

L'utilisateur a trouvé l'application intéressante mais avec des améliorations nécessaires. Il a suggéré que l'interface pourrait être plus intuitive, permettant une meilleure navigation entre les différentes fonctionnalités sans perdre de temps. En particulier, il a noté que les options de matériaux et de styles devraient être plus facilement accessibles.

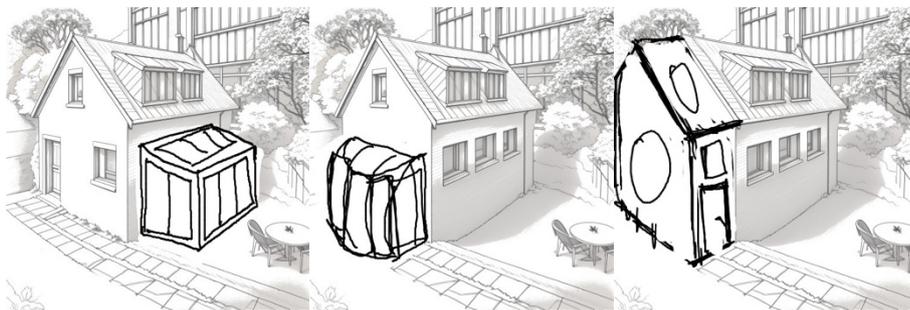
L'étudiant a apprécié la possibilité de générer des propositions rapidement, mais a mentionné que le processus de dessin pourrait être amélioré pour permettre plus de créativité et de précision. Il a trouvé frustrant de devoir ajuster constamment les paramètres pour obtenir le résultat souhaité et la lenteur de génération et d'importation des images de base.

Malgré ces frustrations, l'utilisateur a reconnu que l'application pouvait être un outil précieux pour les étudiants en architecture et en ingénierie civile. Il a particulièrement aimé la capacité de mélanger différents éléments pour créer des designs éclectiques, ce qui a permis de stimuler sa créativité.

En conclusion, bien que l'expérience ait été quelque peu désordonnée en raison des limitations de l'interface, l'utilisateur a vu un grand potentiel dans l'application. Il a exprimé l'espoir que des améliorations futures rendront l'outil plus pratique et plus puissant pour les projets de conception architecturale.

- *Expérimentation 13 – étudiante architecte d'intérieure, étudiante architecte d'intérieure, étudiante architecte d'intérieure et étudiante architecte d'intérieure*

Sketchs finaux :



Propositions finales :



Chronologie des interactions :

0:00 à 9:00 : Elles importent une image du bâtiment existant et dessinent les premiers contours de l'extension.

9:00 à 12:00 : Ajustement des paramètres de génération et première proposition générée. Elles discutent des résultats et échangent des idées sur les modifications à apporter.

12:00 à 16:30 : Modification des paramètres et du dessin pour affiner les détails, puis génération de la deuxième proposition.

16:30 à 21:00 : Troisième proposition créée.

Retour des utilisatrices :

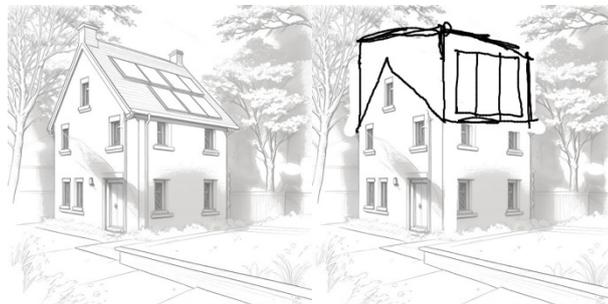
Les quatre étudiantes architectes d'intérieur ont trouvé l'application très utile et ont apprécié la possibilité de dessiner directement sur l'image, ce qui les a aidées à visualiser rapidement leurs idées. Elles ont mentionné qu'elles avaient déjà utilisé d'autres IA dans le passé, mais que cette application se distinguait par la facilité avec laquelle elles pouvaient esquisser des idées et obtenir des résultats immédiats.

Elles ont particulièrement aimé le fait de pouvoir ajuster les paramètres et de voir les modifications en temps réel, ce qui a facilité la collaboration et la discussion entre elles. Elles ont également trouvé l'application utile pour explorer différentes configurations et styles décoratifs, et elles aimeraient tester si l'application peut être aussi efficace pour des plans et pièces intérieurs.

En conclusion, bien que l'application ait encore des marges d'amélioration, notamment en termes de précision et de personnalisation, les étudiantes ont vu un grand potentiel dans cet outil. Elles ont exprimé l'espoir que de futures mises à jour rendront l'application encore plus adaptée à leurs besoins spécifiques en design d'intérieur.

- *Projet de façade*
 - *Expérimentation 14 – futur diplômé ingénieur architecte*

Sketchs finaux :



Propositions finales :



Chronologie des interactions :

0:00 à 0:40 : Il importe une image de la façade existante.

0:40 à 2:00 : Ajustement des paramètres de génération et première proposition générée. L'utilisateur vérifie les résultats et effectue quelques modifications mineures.

2:00 à 3:00 : Génération de la deuxième proposition avec quelques ajustements des paramètres pour affiner le design.

3:00 à 7:40 : Troisième proposition créée avec de plus amples modifications. L'utilisateur teste différents croquis.

Retour de l'utilisateur :

L'utilisateur a trouvé l'application très rapide et efficace pour réaliser des transformations de façade. Il a particulièrement apprécié de ne pas avoir à dessiner beaucoup, ce qui lui a permis de générer trois propositions en moins de huit minutes.

Les ajustements des paramètres ont été simples et intuitifs, permettant à l'utilisateur de voir les modifications en temps réel et de faire des ajustements mineurs pour affiner les résultats.

En conclusion, l'utilisateur a été très satisfait de l'application pour la transformation de façade, trouvant qu'elle permettait de réaliser des designs rapidement et efficacement. Il voit un grand potentiel dans l'application pour les projets architecturaux nécessitant des modifications rapides et des résultats immédiats.

- *Projet de rénovation intérieure*
 - *Expérimentation 15 – futur diplômé ingénieur civil architecte*

Sketchs finaux :



Propositions finales :



Chronologie des interactions :

0:00 à 1:00 : L'utilisateur commence à se familiariser avec l'interface et les outils de l'application.

1:00 à 2:00 : Il importe une image de l'intérieur existant et réalise quelques ajustements de base sans dessiner.

2:00 à 4:00 : Première proposition générée.

4:00 à 6:00 : Génération de la deuxième proposition.

6:00 à 8:00 : Troisième et quatrième proposition créées en utilisant plusieurs épaisseurs de traits comme proposé.

Retour de l'utilisateur :

L'utilisateur a trouvé l'application extrêmement utile pour un projet de rénovation intérieure. Il a particulièrement apprécié le fait que l'application propose une multitude de possibilités, ce qui est ultra pratique pour trouver de l'inspiration ou pour créer rapidement des rendus à montrer à un potentiel client.

La facilité d'ajustement des paramètres et la rapidité avec laquelle les propositions sont générées ont permis à l'utilisateur de visualiser plusieurs idées en un temps record. Cela lui a également donné la possibilité d'expérimenter avec différents styles et configurations sans avoir à dessiner beaucoup, ce qui est un gain de temps considérable.

En conclusion, l'utilisateur voit un grand potentiel dans cette application pour des projets de rénovation intérieure. Elle permet de générer des idées rapidement, offre une grande variété d'options, et est particulièrement efficace pour créer des rendus rapides et inspirants pour les clients.

- *Analyse des résultats*

Expérimentation	Temps nécessaire à la génération en secondes		
	Première image	Deuxième image	Troisième image
1	510	240	90
2	522	138	216
3	420	240	240
4	540	180	N/A
5	480	240	180
6	396	204	180
7	300	180	120
8	540	180	156
9	420	180	180
10	480	240	780
11	480	180	240
12	300	180	90
13	720	270	270
14	120	60	276
15	240	120	120
Moyennes	431,2	188,8	224,1428571