

L'impact de l'Intelligence Artificielle sur l'apprentissage du projet : perspectives et défis

The impact of Artificial Intelligence on project-based learning: perspectives and challenges

Nihel Allouche^{1,3*}, Aida Siala^{2,3}

¹ Master BIM

² Ph.D., chercheuse post-doctorale

³ Ecole Doctorale EDSIA – ENAU, Université de Carthage, Tunis, Tunisie

Résumé : Cet article présente un retour d'expérience d'une approche de conception architecturale exploitant l'intelligence artificielle (IA), en particulier les moteurs de text-to-code, dans un processus de conception paramétrique. L'objectif de cette approche est de faciliter aux concepteurs du domaine du bâtiment l'accès aux méthodes computationnelles qui peuvent stimuler d'avantage la créativité du concepteur, mais qui nécessitent une certaine maîtrise en développement informatique. Ce travail discute des avantages et des limites de l'utilisation de l'IA dans la didactique du projet et vise à informer les chercheurs, les enseignants et les étudiants au potentiel de l'utilisation de l'IA pour faciliter l'accès aux pratiques computationnelles, spécialement dans un cadre pédagogique où les étudiants ne maîtrisent pas encore les langages de programmation, mais peuvent s'engager dans un processus de conception paramétrique ou générative, tout en étant assistés par les modèles de génération de code.

Mots-clés : conception architecturale, pédagogie, approches numériques, pratiques computationnelles, intelligence artificielle

[Abstract : *This article presents a case study of an architectural design approach that leverages artificial intelligence (AI), specifically text-to-code engines, in a parametric design process. The objective of this approach is to provide building designers with easier access to computational methods that can further stimulate creativity, but require a certain level of expertise in computer programming. This work discusses the advantages and limitations of using AI in project-based learning, aiming to raise awareness among researchers, educators, and students about the potential of using AI to facilitate access to computational practices, especially in an educational setting where students are not yet proficient in programming languages but can engage in parametric or generative design processes with the assistance of code generation models.]*

Keywords : Architectural Design, pedagogy, digital approaches, computational practices, artificial intelligence

INTRODUCTION

Afin de satisfaire les impératifs d'un environnement de plus en plus complexe, une diversité d'outils de modélisation paramétrique, mis à la disposition des concepteurs, a facilité l'expansion des frontières de la créativité en architecture (Akrout & Leclercq 2023). Dans un environnement numérique, les architectes peuvent désormais explorer une infinité d'alternatives de conception grâce aux pratiques computationnelles. L'enseignement en atelier du projet souhaiterait évoluer en réponse aux pratiques contemporaines (Hamlin & Fusaro 2018). Les pratiques conceptuelles peuvent être multidisciplinaires et tenir compte des multiples défis environnementaux, fonctionnels, climatiques, géographiques et sociaux. Les avancées technologiques du BIM et les pratiques computationnelles affectent de plus en plus la manière dont l'enseignement de l'architecture aborde les problématiques liées à la conception, à la représentation et à la collaboration (Kocaturk & Kiviniemi, 2013). L'intégration de l'intelligence artificielle (IA) avec les nouvelles technologies dans les programmes académiques est devenue une nécessité. Ses applications potentielles incluent la génération des concepts initiaux, l'optimisation de la conception, la simulation des performances ou du confort des occupants, etc.

L'objectif de cet article est d'informer les chercheurs, les enseignants et les étudiants au potentiel de l'utilisation de l'IA pour faciliter l'accès aux pratiques computationnelles, spécialement dans un cadre pédagogique où les étudiants ne maîtrisent pas encore les langages de programmation. Cette compétence est essentielle pour répondre aux exigences en constante évolution du domaine du bâtiment.

Le document identifie d'abord le potentiel des pratiques computationnelles et de l'IA dans les programmes académiques en architecture. Il présente ensuite, une nouvelle approche de conception exploitant l'IA en combinaison avec les pratiques computationnelles afin de pouvoir repousser les limites de maîtrise qu'impliquent ces pratiques et tirer profit de leur exploitation dans le processus de conception. Il expose par la suite les résultats de l'observation d'un cas d'application de cette approche en atelier du projet afin de mettre en lumière les apports et les limites de son utilisation dans la didactique du projet architectural.

L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE ET LES PRATIQUES COMPUTATIONNELLES

La conception paramétrique est une approche de conception qui permet de créer des formes géométriques complexes et d'optimiser les processus en automatisant des tâches de conception, de vérification et de contrôle. Cette méthode repose sur l'utilisation de pratiques computationnelles sophistiquées pour manipuler des variables d'entrée. Les variables peuvent être, entre autres, des caractéristiques de formes géométriques (ex. forme, dimensions, couleur, position, etc.), des caractéristiques d'éléments architecturaux (ex. mur, poteau, porte, fenêtre, etc.), des contraintes (ex. contraintes réglementaires ou budgétaires, exigences du programme, choix du concepteur, etc.). Souvent exploitée pour la mise en forme du projet, la modélisation paramétrique peut être utilisée pour paramétrer une image prédéfinie, pour paramétrer des concepts imaginés, ou encore pour paramétrer les contraintes physiques externes du projet (Akrout & Siala 2023). L'automatisation des tâches est une pratique de plus en plus utilisée de nos jours par la nouvelle génération de concepteurs paramétriques, ouvrant la voie à des pratiques plus optimisées et plus efficaces (Atwa & Saleh 2023).

L'Intelligence Artificielle (IA) est un domaine complexe qui a récemment suscité un intérêt sans précédent en raison de ses applications étendues dans la science et l'ingénierie (Hegazy, M & Saleh, A, 2023). Le terme « intelligence artificielle » fait simplement référence à un système informatique capable d'accomplir des tâches qui nécessiteraient normalement un être humain. Appliquée au domaine du bâtiment, cette technologie a apporté des contributions majeures, notamment dans les phases exploratoires de la conception, où elle permet d'avoir un large éventail d'options de conception. Mais également tout au long du processus de conception, où elle peut assister le concepteur dans l'exécution des tâches répétitives et fastidieuses (Chaillou, 2019). La portée des outils basés sur l'IA s'est élargie ces dernières années pour couvrir progressivement d'autres champs d'action, à l'image de l'aménagement des espaces, la gestion des données et les options de conception, la modélisation des informations du bâtiment, l'analyse des performances des bâtiments, la construction intelligente, la photogrammétrie, l'interopérabilité des flux de travail, la réalité augmentée, la gestion des installations, la santé et la sécurité, etc. (Amer 2023).

Les modèles de langages de l'IA, tel que GPT (Generative Pre-trained Transformer) ont ouvert de nouvelles possibilités pour la communication et la collaboration entre les utilisateurs et les logiciels informatiques dans de nombreux domaines, y compris en architecture (Ploennigs & Berger 2023), notamment quand ils sont utilisés en combinaison avec les pratiques computationnelles et les outils de programmation visuelle. Étant à la base dédiée spécialement aux acteurs du domaine du bâtiment, ces outils nécessitent cependant des connaissances de plus en plus approfondies en programmation informatique, surtout avec l'évolution actuelle des pratiques paramétriques et génératives et ce qu'elles impliquent en matière de développements de fragments de code personnalisés, dépassant la couverture des nœuds prédéfinis disponibles dans les outils de programmation visuelle.

En matière d'apprentissage automatique, il existe plusieurs types de modèles d'apprentissage automatique « Text-to-text », tels que les chatbots (ou assistants virtuels) qui sont capables de simuler une conversation humaine entre un utilisateur et un système informatique (Lalwani & al, 2018). Ces modèles peuvent s'adapter à un large éventail de sujets et de langages et fournissent des réponses pertinentes grâce à leur compréhension du contexte. Les techniques utilisées incluent les réseaux de neurones récurrents, les transformeurs ainsi que les modèles de langage pré-entraînés tels que BERT et GPT. Les modèles « Text-to-image » prennent des descriptions textuelles en langage naturel comme entrées pour produire des images correspondantes (Zhang & al, 2023). Ces modèles ont été développés, grâce aux progrès des réseaux de neurones profonds et aux technologies de réseaux générateurs adverses, qui permettent aux modèles «Text-to-image» d'apprendre à transformer des descriptions en images réalistes. Ces modèles peuvent capturer les correspondances entre le texte et l'apparence visuelle grâce à un entraînement sur de grandes quantités de données textuelles associées à des images réelles. Récemment, des modèles de pointe tels que « DALL-E 2 » d'OpenAI, « Imagen » de Google Brain et « Stable Diffusion » de StabilityAI ont permis de générer des images qui se rapprochent de la qualité des photographies réelles et de l'art dessiné par l'homme, marquant ainsi un immense progrès dans la génération d'images (Siala & Ben Othmen 2023).

En se différenciant des modèles d'apprentissage automatique précédents, les modèles «Text-to-code» de l'IA permettent de convertir un texte en code informatique. Ils peuvent être utilisés pour

générer un code informatique utilisable à partir d'une description textuelle de l'enchaînement voulu par le concepteur. Cette méthode permet d'assister les concepteurs dans le développement de fragments de code dont la plupart n'étaient pas en mesure de développer auparavant. Elle facilite l'accès des concepteurs aux pratiques computationnelles et leur offre la possibilité d'explorer de nouvelles approches de conception et de pousser davantage le développement de leurs algorithmes tout en étant guidés dans la création de fragments de code d'une manière rapide et optimisée.

L'utilisation de modèles de langage automatique, tels que CodeT5¹, Whisper² et ChatGPT³, pour la conversion de texte en code est une méthode utile. Cependant, il convient de noter que l'exactitude et la fiabilité du code généré peuvent être limitées. Il est important de souligner que même les modèles de langage les plus avancés ne peuvent pas garantir toujours une conversion de texte en code précise et fiable. Par conséquent, il est impératif de vérifier et de tester soigneusement le code généré avant de l'utiliser en production.

En raison de sa capacité à analyser rapidement de grandes quantités de données et à fournir des résultats précis et pertinents, l'IA est devenue un outil clé pour les pratiques computationnelles. Les outils de l'IA peuvent, entre autres, être utilisés pour identifier des solutions de conception alternatives, générer des solutions plus adaptées, évaluer les performances des modèles existants, optimiser les performances des projets en conception. Utiliser l'IA avec les pratiques computationnelles permet d'accélérer considérablement le processus de conception et d'explorer des solutions novatrices pouvant répondre aux exigences environnementales, réglementaires et techniques du projet.

L'ENSEIGNEMENT ET LA PRATIQUE ARCHITECTURALE : STRATÉGIE PÉDAGOGIQUE

Dans l'enseignement de la conception architecturale, la méthodologie générale consiste à aider les étudiants à développer les compétences nécessaires pour transformer des idées abstraites en espaces concrets. Il s'agit de maîtriser la définition de dispositifs spatiaux capables de permettre le déroulement des activités

¹ Code T5 est un modèle de langage automatique basé sur le modèle T5 de google

² Whisper est un système de reconnaissance vocale automatique et utilise une variante du modèle GPT-2 d'OpenAI

³ ChatGPT est un chatbot de l'entreprise OpenAI qui utilise le traitement du langage naturel pour créer un dialogue conversationnel humain

programmées. Le numérique peut être considéré comme un indicateur de complexité dans la conception architecturale et non pas comme un point d'entrée des réflexions pédagogiques. Il est avantageux d'améliorer l'enseignement des étapes de conception aux étudiants et d'analyser comment les outils numériques peuvent être intégrés dans ce processus. En somme, les attentes formulées pour la conception prédisent le recours ou non au numérique et les démarcations opérées avec les méthodes analogiques peuvent être prises en compte dans l'enseignement de la conception architecturale. (Lescop, Chamel.2020)

L'intégration de l'IA dans l'enseignement en architecture soulève la question de savoir si cette technologie peut appliquer les connaissances et les techniques tactiques de la conception architecturale de manière pratique pour résoudre les problèmes. La différence entre la pratique architecturale et la théorie réside dans le fait que la pratique ne se limite pas à l'application directe de la théorie. La pratique architecturale implique une construction progressive des connaissances pour la production et elle reste principalement au niveau personnel, avec des aspects pouvant être codés et rendus ouverts (Başarir 2022).

Pour une intégration de l'IA dans la pédagogie en architecture, une stratégie peut être établie pour informer les étudiants aux modes de déploiement potentiels des outils IA et de les responsabiliser dans l'utilisation de ces outils librement accessibles, avant de favoriser l'adoption de cette technologie. Les enseignants peuvent aborder la question de l'IA en identifiant comment la collaboration avec ses outils pourrait soutenir le développement et l'apprentissage de la conception au lieu de l'affaiblir (Stevens 2023). Les étudiants vont à leur tour être encouragés à explorer les potentiels et les limites de l'IA et à développer leur propre compréhension des possibilités qu'elle offre.

APPROCHE PROPOSÉE : UN NOUVEAU WORKFLOW

La conception paramétrique et générative peut représenter des défis aux apprenants en architecture notamment en raison de la complexité inhérente à l'utilisation des outils qui requièrent une compréhension avancée en programmation informatique. Les modèles de langage automatique

GPT⁴ à l'image de « Codex », développé par OpenAI⁵, ont été affinés pour la génération de code à partir de textes de langage naturel. Les codes générés par ces modèles peuvent être adaptés aux scripts des modélisateurs paramétriques, comme Grasshopper⁶, Dynamo⁷, Blender⁸, etc. Étant donné que l'IA permet de traiter une grande quantité de données très utiles en phase de conception, dont notamment les données concernant l'environnement immédiat, les besoins des habitants, les exigences fonctionnelles, le code réglementaire, etc. (Amer, 2023). Chaque décision de conception peut être traduite en un code de configuration de paramètres, conduisant vers un large éventail d'instances de conception. À travers une telle approche, le processus de conception se trouve assisté et optimisé.

L'approche proposée dans cette étude exploite les modèles « Text-to-code » pour la traduction des idées des concepteurs sous forme d'algorithmes interprétables par les modélisateurs paramétriques. Elle peut servir d'une manière ponctuelle dans le processus de conception, comme elle peut être exploitée pour automatiser l'ensemble du processus. L'objectif de cette approche est de faciliter aux concepteurs l'accès aux méthodes computationnelles nécessitant une certaine maîtrise en développement informatique et d'encourager spécialement les apprenants à s'engager dans un processus de conception paramétrique ou génératif, tout en étant assistés par les modèles de génération de code. Dans une telle approche de conception, le concepteur pourrait explorer plusieurs instances de conception et prendre des décisions mieux éclairées.

L'exploitation de l'IA en combinaison avec les pratiques paramétriques offre de nouvelles perspectives stimulantes pour les pratiques numériques en conception. Elle peut être utilisée, entre autres, pour des fins de recherche formelle, d'optimisation des performances, et d'optimisation des processus.

OBSERVATION PÉDAGOGIQUE

Contexte

L'observation est menée auprès d'un groupe de douze étudiants en troisième année licence à l'École

⁴ Generative Pre-trained Transformer

⁵ Open AI est une société de recherche et de déploiement de l'IA fondée en 2015. L'un de ses développements les plus récents est ChatGPT qui est une application de chat IA.

⁶ Grasshopper est un langage de programmation visuelle intégré à Rhino, qui est puissant pour la conception paramétrique.

⁷ Dynamo est un langage de programmation visuelle intégré à Revit, qui est utile pour automatiser les tâches répétitives et créer des flux de travail personnalisés.

⁸ Blender est un logiciel de modélisation 3D open source de plus en plus populaire en architecture et en conception de produits.

Nationale d'Architecture et d'Urbanisme de Tunis (ENAU), travaillant sur un exercice commun ayant pour objectif de développer les compétences nécessaires à la conception d'une architecture intégrée dans son contexte, en prenant en compte les aspects physiques, urbains et sociaux du site. Il s'agit de la conception d'un espace public culturel dédié à la communauté de la Goulette, sur terrain de 3500 m² situé sur la plage de La Goulette à Tunis. Ce terrain offre une vue sur la mer du côté sud et une vue sur un ancien fort du côté ouest (Figure 1). Le projet devrait mettre en évidence les particularités du site et préserver deux arbres centenaires qui existent sur le terrain.

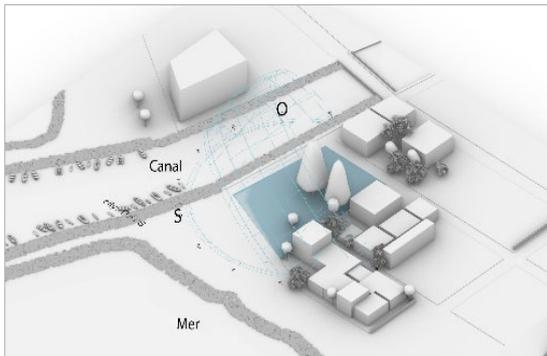


Figure 1 – Site d'intervention.

L'exercice s'étale sur huit séances, dont la première est dédiée à la présentation du contexte du projet et à l'explication de ses objectifs. Les sept séances restantes sont dédiées à l'avancement dans la conception, ponctué par des interventions de correction. Durant ces séances, chaque étudiant est appelé à présenter son état d'avancement aux enseignants pour recueillir les remarques et directives lui permettant d'ajuster et d'améliorer sa réponse architecturale, jusqu'à aboutir à la solution qui répond le plus aux exigences demandées. Durant cette étape de l'apprentissage, une communication claire est assurée entre étudiants et enseignants. Ces derniers encouragent les étudiants à exprimer leurs préoccupations et à participer activement aux discussions. Ils fournissent une rétroaction constructive, d'une manière individuelle ou collective, et offrent des conseils pouvant aider les étudiants à avancer et à améliorer leurs projets. Dans cet exercice, un encouragement particulier à l'expression créative a permis de stimuler les étudiants et à les pousser à sortir de leurs zones de confort pour les inciter à chercher de nouvelles méthodes leur permettant de développer leurs idées jusqu'au bout.

L'observation a été menée auprès de l'ensemble des étudiants du groupe, dont l'un a eu l'initiative de proposer l'utilisation d'une nouvelle approche de conception exploitant les outils de modélisation paramétrique associés aux outils de l'IA (approche

ci-dessous présentée). Les enseignants, dont notamment la chercheuse, l'ont encouragé à avancer dans cette expérience qui était une première à ce niveau d'étude, vu que ces approches et méthodes de conception ne sont pas jusque-là enseignées à l'école. Étant initiée à ces approches dans le cadre du mastère BIM de l'ENAU, la chercheuse responsable de l'observation a pu encadrer et suivre de près le travail de l'étudiant en question.

Approche observée

Concept architectural

Conformément aux exigences du programme et aux contraintes du site, le concept avancé par l'étudiant était de générer la masse globale de son projet, sous forme rectangulaire simple (Figure 2).

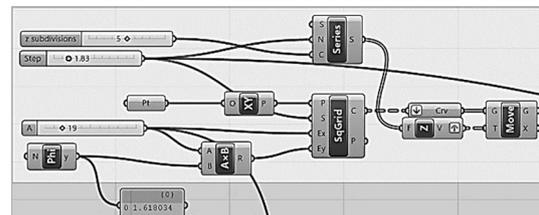


Figure 2 – Algorithme de création de la forme du projet en fonction de sa longueur, de sa largeur et sa hauteur.

Puis d'ajouter une circulation intérieure découverte par évidement dans la masse. Cette circulation, de forme recherchée, suit un parcours de forme souple reliant l'entrée principale du projet à un point d'aboutissement qui servira comme observatoire de l'ancien fort, passant autour du grand arbre centenaire.

La mise en forme du projet à l'aide de la modélisation paramétrique assistée par l'IA

Pour mettre en forme son projet, l'étudiant a d'abord fait recours à l'utilisation de la conception paramétrique. Un algorithme de programmation visuelle a permis de générer une masse rectangulaire paramétrique qui répond aussi bien au programme fonctionnel demandé, qu'aux contraintes règlementaires du site (Figure 3). Cette masse a été ensuite préparée à l'évidement en la décomposant en petits cubes paramétriques, pour pouvoir décider par la suite de la mesure finale à adopter ainsi que des cubes à supprimer pour la création de l'évidement de circulation.

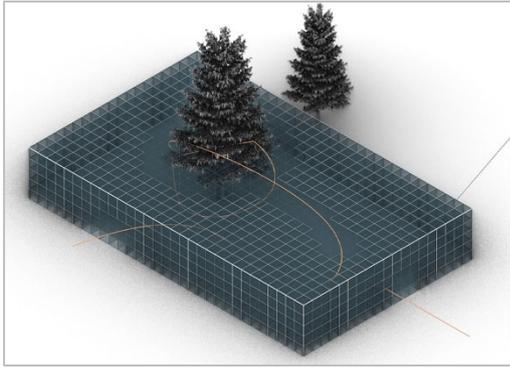


Figure 3 – Création d'un parallélépipède composé de cubes.

Afin de créer une circulation fluide à l'intérieur du projet, une courbe basée sur une suite mathématique a été générée. Cette courbe définit le chemin à suivre pour le passage à travers la structure. Elle est déterminée par plusieurs points clés, notamment le point de départ (entrée principale), le point d'arrivée (point d'observation de l'ancien fort) et les points intermédiaires (qui contournent l'arbre centenaire).

La création de la trajectoire de la courbe de circulation repose sur plusieurs étapes. Pour faciliter ce processus, l'étudiant a utilisé l'intelligence artificielle. Plusieurs étapes ont été suivies, notamment une analyse approfondie du site de la Goulette afin de comprendre ses caractéristiques visuelles et l'impact sur la création de la courbe (Figure 4).

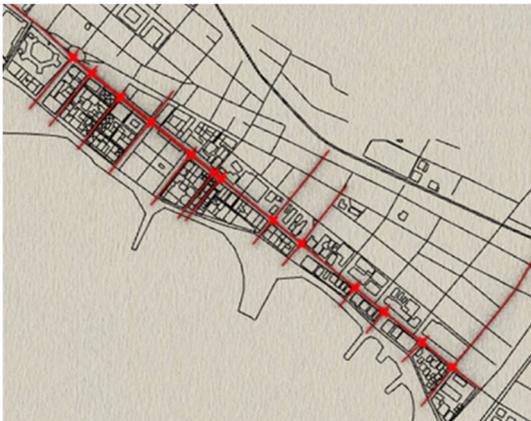


Figure 4 – Analyse du système des percées de la ville de la goulette.

Les distances entre les points de vue ont ensuite été converties en une suite mathématique, qui a été utilisée pour générer un attracteur de Lorenz, il s'agit bien d'une représentation graphique en 3D des relations entre les points de vue.

	{0;0;0}
0	50.078766
1	75.05846
2	79.683864
3	104.168626
4	60.158256
5	17.158651
6	134.472595
7	75.315254
8	139.519091
9	76.308253
10	98.556334
11	79.471534

Figure 5 – Les distances entre les points de vue : une séquence de nombres.

À l'aide de l'IA ChatGPT, un script Python a été créé pour générer la courbe en utilisant les données de l'attracteur de Lorenz, automatisant ainsi une partie du processus (Figure 7). Cependant, des modifications manuelles ont également été apportées pour améliorer la précision de la courbe finale, en tenant compte des aspects esthétiques et des spécificités du projet.

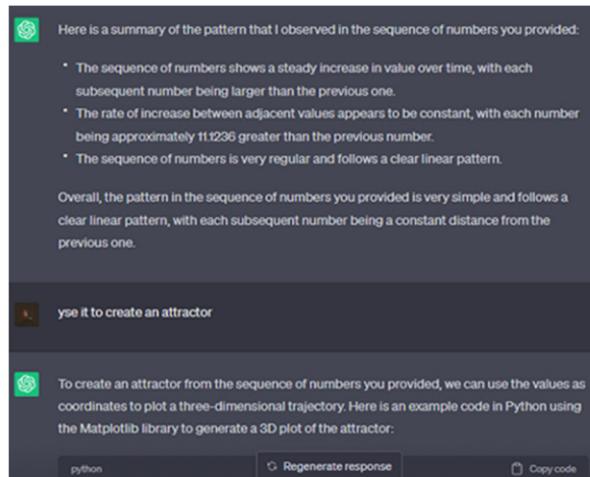


Figure 6 – Dialogue entre l'étudiant et un chatbot GPT pour la création de la trajectoire 3D.

```

for i in range(1, 12):
    x[i] = math.sin(a*y[i-1]) - math.cos(b*x[i-1])
    y[i] = math.sin(c*x[i-1]) - math.cos(d*y[i-1])
    z[i] = math.sin(e*x[i-1]) - math.cos(f*y[i-1]) +
    math.sin(g*z[i-1]) - math.cos(h*z[i-1])

pts = []
    
```



Figure 7 –La réponse du chatbot GPT sous forme d’un script python.

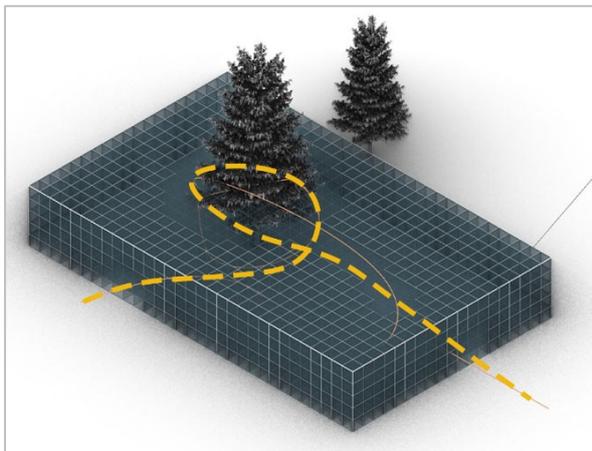


Figure 8 – Génération de la courbe de trajectoire.

Après avoir arrêté la forme de la courbe, l’étape suivante consistait à définir le nombre de cubes à enlever autour de la courbe pour créer l’évidement de la circulation intérieure découverte. Et c’est en ce deuxième moment que l’étudiant a eu recours à l’IA.

Pour définir la forme de la circulation intérieure, l’étudiant a décidé de supprimer les cubes dont le centre se trouve à une distance de trois mètres de la courbe générée. Pour effectuer cette étape, un code Python était nécessaire pour la création d’un attracteur de Lorenz⁹ qui pourrait identifier les cubes à enlever. N’ayant pas eu une formation à ce langage informatique, l’étudiant, a eu recours au modèle de langage ChatGPT pour générer ce fragment de code (figure 8).

⁹ Un attracteur de Lorenz est une représentation géométrique qui montre comment les variables d’un système évoluent dans

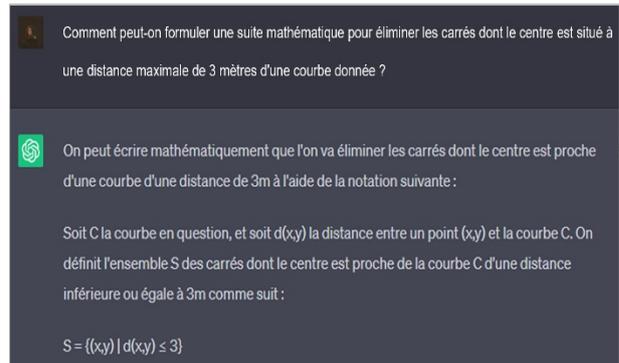


Figure 9 –Dialogue entre l’étudiant et un chatbot GPT pour la création de la suite mathématique permettant d’identifier les cubes à supprimer.

Le fragment de code proposé par le chatbot a effectivement permis de supprimer les cubes nécessaires à la création de l’espace négatif voulu par le concepteur. Et ce, dès le premier essai. Enfin, une fois l’évidement est créé, les faces des cubes restants à l’intérieur du parcours ont été lissées pour obtenir une mobilité plus fluide et des espaces de circulation et de repos plus fonctionnels (Figure 10).

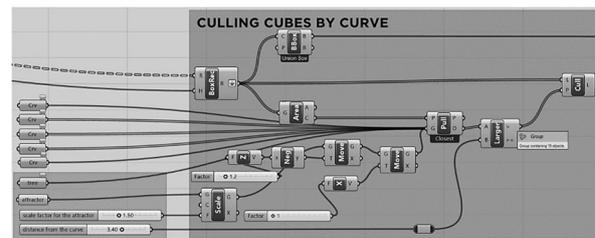


Figure 10 – Algorithme de création de l’espace négatif par suppression de cubes suivant la courbe.

un espace tridimensionnel, avec un mouvement chaotique et imprévisible.

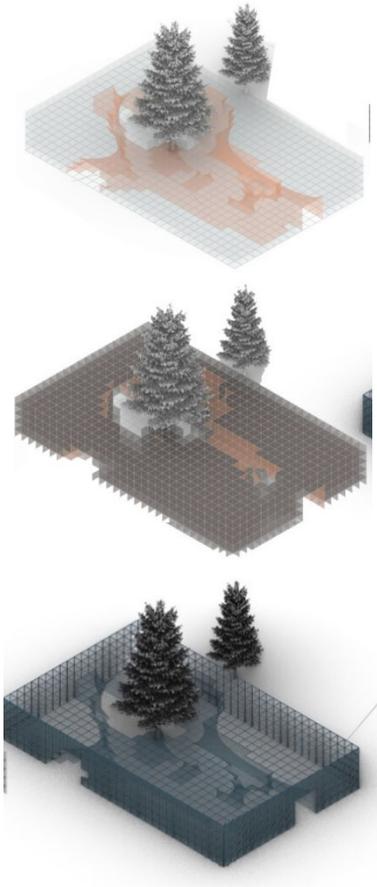


Figure 11 – L'espace de circulation créé de façon paramétrique avec l'aide d'IA pour la détermination du fragment de code nécessaire.

Le déroulement de l'observation

L'observation a été réalisée sur douze travaux d'étudiants, y compris le travail exploitant la nouvelle approche ci-dessus présentée. Lors des premières séances de correction, l'approche de travail proposée par l'étudiant n'était pas facilement acceptée par les enseignants, qui sont habitués à faire des corrections sur la base d'esquisses et de maquettes physiques et qui découvraient les technologies utilisées pour la première fois. Ainsi, un protocole d'observation a été mis en place dès les premières séances pour pouvoir mesurer ensuite l'apport de l'utilisation de cette approche et décider de la possibilité de son adoption dans les années à venir. Il s'agit d'une observation qualitative visant à illustrer l'avancement des étudiants durant les différentes étapes du processus de conception pour détecter la variable à analyser qui concerne le pourcentage d'avancement par séance pour chaque étudiant par rapport aux objectifs de l'exercice (analyse du site, définition du concept, respect du programme

fonctionnel, image du projet, l'intégration dans le site).

Une fiche d'observation a permis à la chercheuse de noter en pourcentage l'état d'avancement.

La première étape d'analyse du site aide les étudiants dans la formulation de leurs concepts. Tel est le cas pour l'étudiant ayant travaillé avec la nouvelle approche. Dès la première étape de l'analyse du site, il a expliqué aux enseignants son concept et l'ébauche d'approche qu'il compte utiliser. Il a fallu un certain temps pour que ceux-ci arrivent à comprendre la vision de l'étudiant et son approche pour qu'ils puissent ensuite l'accompagner dans ce processus.

Dès la troisième séance de correction, l'étudiant a réussi à clarifier le concept imaginé pour son projet architectural. Grâce à l'utilisation de la technologie, il a pu explorer plusieurs alternatives de conception en temps réel et procéder à la modification immédiate lors des corrections. L'approche utilisée lui a permis d'avancer rapidement, quand la plupart des autres étudiants travaillaient encore sur la définition de leurs concepts et sur la recherche volumétrique.

RÉSULTATS

La nouvelle approche a permis de créer un projet architectural dont la forme est basée sur des principes mathématiques et des fragments de code qui sont rendus accessibles à travers les modèles de langage de l'IA. Dans ce cas d'application l'approche paramétrique a été utilisée sur l'ensemble du processus créatif, allant de la mise en forme de la masse du projet, jusqu'au traitement des façades. Elle a permis à l'étudiant d'optimiser le processus de conception et d'arriver à la mise en forme de son projet d'une manière plus efficace. La génération de plusieurs instances de conception a stimulé la créativité de l'étudiant et a facilité la prise de décisions pour aboutir vers une forme architecturale plus recherchée et plus innovante.

Avec une volumétrie recherchée fondée sur les caractéristiques spécifiques du site, le bâtiment présente une architecture dynamique qui interagit avec son environnement. L'utilisation d'une façade cinétique permet de cadrer les vues tout en offrant une protection solaire. A la fin de l'exercice ce projet a eu la félicitation des membres du jury (Figure 12).

Après la clôture de l'exercice, les données collectées ont été représentées dans une grille d'analyse permettant de mettre en évidence l'avancement de chaque étudiant par séance et par objectif d'enseignement. L'interprétation des résultats a ensuite démontré que, malgré le retard cumulé par l'étudiant ayant travaillé avec la nouvelle approche

durant les deux premières séances spécialement en ce qui concerne la définition du concept (qui s'est limitée à 5% devant une moyenne de 19% pour le reste des étudiants), celui-ci a pu rapidement rattraper le retard et dépasser ses camarades en atteignant 70% d'avancement au bout de la 4^{ème} séance. À la fin de la cinquième séance, l'étudiant a pu développer les algorithmes permettant de paramétrer la masse globale du projet et celle de la forme de l'évidement intérieur. Les décisions n'étaient pas encore prises à ce stade, mais l'étudiant a pu atteindre 80% d'avancement sur la définition de l'image de projet et son intégration dans le site, quand les autres étudiants tâtonnaient encore (37%). L'utilisation de la conception paramétrique, associée à l'IA a permis à l'étudiant d'optimiser le processus de conception et de gagner en efficacité.

Le gain de temps accumulé lui a servi ensuite pour approfondir d'autres aspects du projet, à l'image de la fonctionnalité, des ambiances intérieures, mais également de la performance énergétique du projet. Pour le traitement des façades et la résolution du problème de profiter de la vue sur la mer sur la façade sud et de la vue sur le canal sur la façade ouest, l'étudiant a eu recours à la modélisation paramétrique pour la création de façades cinétiques dont le pourcentage d'ouverture varie suivant le parcours du soleil.

Au cours du jury, les façades cinétiques ont constitué l'élément clé qui a participé à choisir ce travail comme, meilleur travail de l'atelier. Cette solution a assuré un projet à la fois énergétiquement performant et ouvert sur son environnement immédiat. À la différence des autres travaux qui ont décidé soit d'ouvrir sur la vue et de perdre en performance, soit de fermer sur la mauvaise orientation (ouest) et de perdre ainsi la vue sur le canal en faveur d'une meilleure performance énergétique du projet.



Figure 12 – Projet élaboré avec la nouvelle approche de conception.

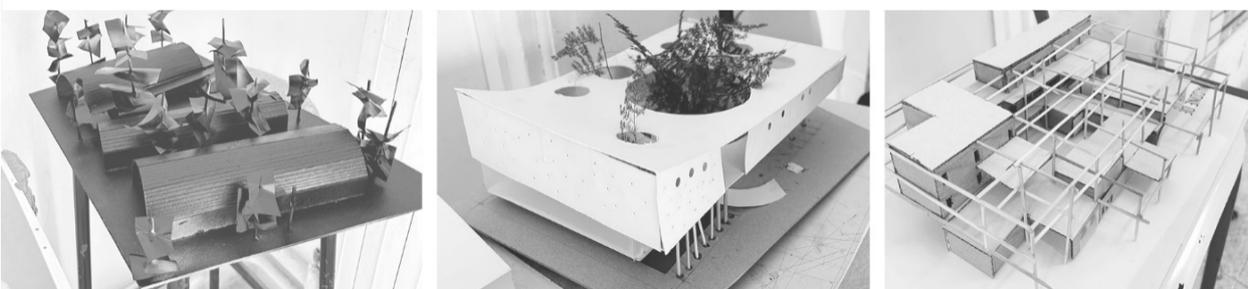


Figure 13 – Exemples de projets élaborés avec l'approche habituelle de conception.

DISCUSSION

L'observation a permis de comparer entre l'approche habituelle de conception et celle exploitant les approches computationnelles en combinant avec les modèles « Text-to-code » de l'IA. Un écart entre les deux approches a été constaté dès la troisième séance de correction en faveur de la nouvelle approche. Cet écart est devenu de plus en plus significatif au fur et à mesure de l'avancement de la conception spécialement en ce qui concerne la définition du concept, de l'image du projet et l'intégration du projet dans son site.

Dans ce sens, l'étudiant ayant travaillé avec la nouvelle approche de conception a abouti vers un projet plus performant et plus intégré dans son environnement avec un processus de conception automatisé et optimisé.

La combinaison des modèles de langage de l'IA avec la pratique de la modélisation paramétrique a permis d'assister l'étudiant dans l'exploration de nouvelles approches de conception qui n'étaient pas évidentes à utiliser et à maîtriser à ce niveau d'étude. Il est à noter que certains étudiants du groupe observé ont essayé d'utiliser les approches computationnelles de conception, notamment pour la génération de la forme du projet suivant les contraintes du site. Cependant, ils étaient par moment entravés par le manque de connaissance en programmation informatique. Vu le niveau de maîtrise élevé en programmation informatique qu'impliquent ces pratiques, ces étudiants ont préféré ne pas prendre le risque et revenir à leur méthode habituelle de conception. Dans ce sens, l'introduction des modèles « Text-to-code » a permis d'encourager l'étudiant travaillant avec la nouvelle approche à prendre le risque et à sortir de sa zone de confort pour explorer de nouvelles méthodes.

La 3^{ème} année licence marque une étape décisive dans la formation des architectes, étant donné qu'elle représente une transition de l'initiation vers la maîtrise des aspects techniques et conceptuels relatifs à la conception architecturale. Les étudiants sont capables de formuler des hypothèses de travail, de défendre des positions argumentées, de choisir les outils d'analyse, de représentation et de communication les plus adaptés à leurs approches, en se servant efficacement des connaissances et compétences acquises.

De nos jours, les écoles d'architecture adoptent des stratégies de plus en plus ouvertes vers l'intégration des avancées technologiques dans les programmes de formation (Başarir 2022). La technologie connaît une évolution significative, notamment grâce à l'essor à l'IA et à ses potentiels dans le domaine de l'architecture. Ces potentiels

englobent entre autres les modèles « Text-to-code » et leur apport dans les pratiques computationnelles, mais également les modèles « Text-to-image » et leurs apports dans l'optimisation de la création de vues réalistes du projet dès les phases précoces du processus de conception. Ces derniers modèles qui restent assez jeunes de nos jours, peuvent remplacer dans un avenir proche les logiciels de création d'images de synthèse et les outils de conception paramétrique et générative qui impliquent un temps de paramétrage considérable.

Il est toutefois à noter que l'utilisation de modèles IA peu développés peut présenter des risques significatifs, comme la génération d'un code erroné ou incompatible. De plus, l'adoption de l'apprentissage automatique comme méthodologie de développement peut entraîner une perte de contrôle sur les projets et reproduire des biais existants dans les données d'entraînement. Enfin, une dépendance excessive à l'IA peut entraver la créativité et la pensée critique. Pour minimiser ces risques, il est crucial de prendre des précautions et de ne pas remplacer les aptitudes humaines par l'IA.

CONCLUSIONS

Les pratiques computationnelles émergentes offrent des approches pouvant être exploitées en enseignement du projet architectural. Ces pratiques permettant une réflexion plus avancée quant aux concepts imaginés pour la création d'une architecture innovante, performante et respectueuse de l'environnement (Akrouit & Leclercq 2023). Combinées à l'IA, ses pratiques computationnelles pourraient mener vers des expressions créatives plus recherchées et plus innovantes, surtout quand elle est utilisée pour paramétrer un concept imaginé. Dans ce cas, les résultats obtenus peuvent ouvrir le champ sur une infinité d'instances de conception.

Ce récit présente une nouvelle approche de conception qui exploite l'IA pour faciliter l'accès à la modélisation paramétrique et simplifier ainsi l'avancement vers des programmes qui nécessiteraient des connaissances approfondies en langage informatique. Dans l'approche observée, l'IA a été exploitée après la définition du concept et mise en forme globale du projet. Elle a servi pour paramétrer l'évidement à l'intérieur du projet. Ce qui explique et accentue la différence entre la forme extérieure du projet, toute simple et épurée, et la forme complexe de l'évidement intérieur avec sa trajectoire en courbe et ses surfaces en carrés lissés.

L'IA peut être considérée comme un outil d'assistance à la conception. Elle peut stimuler la créativité du concepteur et développer son

expertise, mais ne devrait jamais la remplacer. Les concepteurs peuvent continuer à développer leurs compétences et rester ouverts à l'exploration de nouvelles méthodes et technologies tout en continuant à se former pour tirer parti des opportunités offertes par l'IA.

Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour comprendre pleinement l'impact de l'IA dans la pratique architecturale et des études de cas sont recommandées pour évaluer les approches de conception exploitant les outils de l'IA et mesurer leurs apports sur des projets réels.

RÉFÉRENCES

- Akrout, S., Calixte, X., & Leclercq, P. (2022, octobre). *L'impact des méthodes computationnelles sur l'intention des architectes dans le processus de conception*. *01 Design*. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/297275>
- Akrout, S. & Siala, A. (2023). *Complexité de l'observation des processus de conception paramétrique : retours d'expériences de deux cas distincts d'application de la méthode*. Dans *ModACT 2023*. <https://popups.uliege.be/modact2023/index.php?id=80>
- Amer, N. (2023). *Architectural Design in The Light of AI Concepts and Applications*. *MSA Engineering Journal*, 2(2), 628-646. <https://doi.org/10.21608/msaeng.2023.291906>
- Atwa, S., & Saleh, M. (2023). *Understanding the Role of Architect in the Artificial Intelligence Era - An Approach to AIA in Egypt*. *EKB Journal Management System*, 2(2), 532-550. <https://doi.org/10.21608/msaeng.2023.291901>
- Başarir, L. (2022). *Modelling AI in Architectural Education*. *Gazi University Journal of Science*, 35(4), 1260-1278. <https://doi.org/10.35378/gujs.967981>
- Caetano, I., Santos, L., & Leitão, A. (2020). *Computational design in architecture: Defining parametric, generative, and algorithmic design*. *Frontiers of Architectural Research*, 9(2), 287-300. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2019.12.008>
- Chaillou, S. (2019). *AI Architecture Towards a New Approach*. https://www.academia.edu/39599650/AI_Architecture_Towards_a_New_Approach
- Coppens, A., Mens, T., & Gallas, M.-A. (2020). *Modélisation Paramétrique en Réalité Virtuelle*. *SHS Web of Conferences*, 82, 03005. <https://doi.org/10.1051/shsconf/20208203005>
- De Boissieu, A. (2022). *Introduction to Computational Design: Subsets, Challenges in Practice and Emerging Roles*. In M. Bolpagni, R. Gavina, & D. Ribeiro (Éds.), *Industry 4.0 for the Built Environment* (Vol. 20, p. 55-75). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-82430-3_3
- Hamlin, J., & Fusaro, J. (2018). *Contemporary strategies for creative and critical teaching in the 21st century*. *Art Education*, 71(2), 8-15. <https://doi.org/10.1080/00043125.2018.1414529>
- Hegazy, M. & Saleh, M. (2023). *Evolution of AI role in architectural design: between parametric exploration and machine hallucination*. *MSA Engineering Journal*, 2(2), 6-1277. <https://doi.org/10.21608/msaeng.2023.291873>
- Kocaturk, T. & Kiviniemi, A. (2013). *Challenges of Integrating BIM in Architectural Education*. *Computation and Performance, Proceedings of the 31st eCAADe Conference*, 2(2), 465-474. <https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2013.2.465>
- Lescop, L., & Chamel, O. (2020). *La place des outils numériques dans l'enseignement du projet : Comparaison entre une école française et une école américaine*. In *SHS Web of Conferences* (Vol. 82, p. 04004). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/shsconf/20208204004>
- Ploennigs, J., & Berger, M. (2023, juillet). *Analysing the usage of AI art tools for architecture*. Dans *EC3 Conference 2023* (Vol. 4, pp. 0-0). European Council on Computing in Construction. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2212.09399>
- Stevens, S. (2023). *Trialling AI Tools within Architectural Design Teaching*. Paper presented at *Education and Student Experience Conference 2023, Brighton, United Kingdom*.

ANNEXES

Annexe 1 : Grille d'évaluation de la conception architecturale : comparaison entre méthode traditionnelle et méthode IA

	Séance 1		Séance 2		Séance 3		Séance 4	Séance 5	Séance 6		Séance 7	
	LES CRITERES D'EVALUATION											
NOMS	Qualité de la recherche effectuée	Compréhension des besoins	Originalité et créativité des idées proposées	Pertinence et faisabilité des solutions	Développement d'un parti architectural cohérent avec les intentions du projet	Clarté de la communication	Functionalité, Esthétique, Efficacité énergétique	Précision et clarté dans la définition des composantes du projet : l'organisation spatiale, les matériaux, les couleurs...	Cohérence et qualité spatiale du projet final	Taux d'expérimentation et de manipulation	Lisibilité, justesse et complémentarité des éléments du rendu	Intelligence, efficacité et maîtrise du projet
<i>Etudiant 1</i>	25 %		30 %		30 %		35%	40%		60 %		80 %
<i>Etudiant 2</i>	20 %		30%		30%		35%	40%		65 %		70 %
<i>Etudiant 3</i>	10 %		20 %		20 %		25%	30%		45 %		60 %
<i>Etudiant 4</i>	15 %		15%		20%		25%	30%		40 %		50 %
<i>Etudiant 5</i>	15 %		20 %		20 %		25%	35%		50 %		60 %
<i>Etudiant 6</i>	20 %		25 %		25 %		35%	40%		50 %		65 %
<i>Etudiant 7</i>	10 %		10 %		15 %		30%	30%		40 %		50 %
<i>Etudiant 8</i>	20 %		30%		30%		35%	50%		60 %		70 %
<i>Etudiant 9</i>	20%		30 %		40 %		45%	50%		70 %		80 %
<i>Etudiant 10</i>	20 %		30 %		30 %		35%	40%		45 %		60 %
<i>Etudiant 11</i>	20 %		30%		30%		35%	50%		60 %		75 %
<i>Etudiants 1 à 11</i>			20 %		25 %		30 %	40 %		60 %		70 %
<i>Etudiant IA -MAJID</i>			10 %		35 %		60 %	70 %		80 %		85 %