

*Ecole Nationale Supérieure d'Architecture*  
*de Paris La Villette*  
**ENSAPLV**

*Mémoire dans le cadre du séminaire*  
**Savoir des Activités de Projet Instrumenté**  
**SAPI**  
*Domaine d'étude*  
**Concevoir et Construire l'Architecture**  
**CCA**

**L'apprentissage de la modélisation  
paramétrique, entre LLM et enseignement  
classique.**

*Présenté par :*

**DJELAILIA Mohamed Chouaib**

Mémoire dirigé par :

**Mme. Anne Tüscher-Dokic**

**Mr. Joaquim Silvestre**

Soutenance : **13 Janvier 2026**



Ce mémoire est le résultat de beaucoup d'efforts,  
mais surtout du soutien des personnes qui  
m'entourent.

Je le dédie d'abord à mes parents, qui sont loin de  
moi mais qui m'encouragent toujours et ne cessent  
jamais de croire en moi. Leur soutien, même à  
distance, m'a donné la force d'aller jusqu'au bout.

À ma sœur, qui partage mon quotidien, pour son  
aide, sa présence et son soutien tout au long de ce  
parcours.

À mon frère, lui aussi loin, mais toujours présent par  
ses encouragements.

À mes grands-parents, aujourd'hui décédés, à qui je  
pense et à qui je dédie ce travail avec respect.

À mes oncles et tantes, que je remercie sincèrement  
pour leur soutien.

Et enfin à mes amis, pour leur présence et les  
moments partagés durant cette période.

# Remerciements

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude à Dieu pour m'avoir guidé et soutenu tout au long de ce travail.

Je tiens à remercier l'équipe encadrante composée de Madame, Anne Tüscher-Dokic et Monsieur, Joaquim Silvestre pour leur encadrement et pour le cadre pédagogique dans lequel ce mémoire a pu être réalisé.

J'adresse un remerciement particulier à Madame Léa Seattler, qui m'a donné l'opportunité d'assister à son cours intensif de Grasshopper et d'y mener une partie de mon expérimentation. Sa disponibilité et sa confiance ont beaucoup compté.

Je tiens également à remercier le professeur François Guéna, pour le temps accordé à la lecture de ce mémoire et pour l'intérêt porté à ce travail.

Je remercie également le groupe d'étudiants qui a participé à mon expérimentation. Merci sincèrement pour votre temps, votre implication et votre aide durant les séances d'apprentissage.

Et enfin, je remercie mon ami, Adnane.G pour avoir accepté de corriger les travaux d'étudiants dans le cadre de mon expérimentation.

## **Résumé :**

Ce mémoire étudie l'impact de l'intelligence artificielle générative, en particulier ChatGPT, sur l'apprentissage de la modélisation paramétrique avec Grasshopper. Face à la complexité de cet outil et aux difficultés rencontrées par les débutants, la recherche compare deux méthodes d'apprentissage : un enseignement classique encadré par une enseignante et un apprentissage réalisé uniquement à l'aide d'un LLM. L'expérimentation menée auprès d'étudiants de l'ENSAPLV montre que ChatGPT permet d'acquérir efficacement les bases de Grasshopper et favorise l'autonomie, grâce à des explications textuelles rapides et accessibles. Cependant, l'enseignement humain reste plus performant pour corriger les erreurs complexes, accompagner visuellement les manipulations et garantir la cohérence des scripts. Les résultats confirment que l'IA peut être un outil complémentaire pertinent, mais ne remplace pas la précision pédagogique d'un encadrement classique. Cette étude ouvre ainsi des perspectives pour des dispositifs hybrides combinant enseignement traditionnel et assistance par IA.

**Mots clés :** modélisation paramétrique, Intelligence artificielle, apprentissage, autonomie.

## **Abstract :**

This thesis examines the impact of generative artificial intelligence, particularly ChatGPT, on learning parametric modeling with Grasshopper. Given the complexity of this tool and the difficulties faced by beginners, the research compares two learning methods: traditional instruction guided by a teacher, and learning carried out exclusively with the help of a large language model. The experiment conducted with students from ENSAPLV shows that ChatGPT effectively helps learners acquire the basics of Grasshopper and promotes autonomy through fast and accessible textual explanations. However, human teaching remains more effective for correcting complex errors, providing visual guidance, and ensuring the coherence of scripts. The results confirm that AI can serve as a relevant complementary tool but does not replace the pedagogical precision of traditional instruction. This study therefore opens perspectives for hybrid learning methods that combine human teaching with AI assistance.

**Keywords:** parametric modeling, artificial intelligence, learning, autonomy.

# Table des matières

<b>Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Etat de l'art.....</b>	<b>3</b>
I-1- Modélisation paramétrique et ses enjeux :.....	4
I-1-1- Mise en contexte et définitions.....	4
I-1-2- Avantages de la modélisation paramétrique.....	5
I-1-3- Outils de modélisation paramétrique.....	6
I-1-4- Apprentissage de la modélisation paramétrique.....	9
I-2- L'intelligence artificielle et ses enjeux.....	10
I-2-1- Intégration de l'IA en architecture :.....	11
I-2-2- L'IA générative :.....	11
I-2-3- Limites de l'IA générative :.....	13
<b>Chapitre II : Dispositif de recherche.....</b>	<b>15</b>
II-1- Problématique et hypothèse :.....	16
II-2- Méthode et outils :.....	18
<b>Chapitre III : Déroulement de l'expérience.....</b>	<b>21</b>
III-1- Phase d'apprentissage avec un enseignant.....	22
III-2- Phase d'apprentissage avec un Chatgpt.....	24
III-3- Collecte de données.....	31
<b>Chapitre IV : Analyse et interprétation des données.....</b>	<b>38</b>
IV-1- Analyse des résultats.....	40
IV-2- Synthèse globale.....	47
<b>Confrontation de l'hypothèse avec les résultats.....</b>	<b>48</b>
<b>Limites et perspectives.....</b>	<b>49</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>50</b>
<b>Références Bibliographiques.....</b>	<b>51</b>

## Introduction

L'évolution des outils numériques a transformé les manières de concevoir en architecture, qui offrent aujourd'hui des possibilités intéressantes en matière de conception et de modélisation. Parmi ces outils, on trouve la modélisation paramétrique, qui est devenue un outil essentiel pour créer des modèles complexes tout en explorant plusieurs variantes. Ça permet aux concepteurs d'exprimer leur logique de manière interactive, de manipuler des formes sans nécessiter des compétences de programmation textuelle avancée, et d'assurer une cohérence dans la conception en automatisant les modifications. Parmi les outils les plus utilisés dans ce type de modélisation on retrouve Grasshopper, plugin de modélisation paramétrique dans Rhinocéros, qui permet de relier des composants graphiques pour former des algorithmes qui définissent la géométrie du modèle.

Cependant, malgré les avantages de ces outils, leur apprentissage reste difficile et compliqué, notamment pour les débutants, à cause de la complexité des logiques de programmation visuelle, la multiplicité de composants et plugins, et le manque de structuration des ressources pédagogiques disponibles, qui compliquent l'acquisition des compétences nécessaires. Les méthodes d'apprentissage existantes, telles que l'utilisation de "samples" ou les tutoriels en ligne, présentent des limites en termes de gestion de l'information, de spécificité du projet et de risque de standardisation de la créativité.

En parallèle, l'intelligence artificielle (IA) générative, et plus particulièrement les grands modèles de langage (LLM) comme ChatGPT, commence à s'intégrer dans le domaine de l'architecture et de l'apprentissage en général. D'ailleurs, des études ont montré que ces IA peuvent assister les utilisateurs dans l'apprentissage de la modélisation paramétrique, soit en générant du code Python pour Grasshopper à partir d'instructions en langage naturel, ou en fournissant des explications détaillées des étapes de création du modèle voulu. Bien que ces outils puissent simplifier la création de modèles complexes et l'apprentissage de la modélisation paramétrique, ils peuvent aussi commettre des erreurs de syntaxe ou de logique, ou donner des informations obsolètes.

Dans ce contexte, mon travail de recherche vise à explorer l'impact de l'IA générative sur l'apprentissage de la modélisation paramétrique, en particulier Grasshopper par rapport à un enseignement classique. Je cherche à évaluer la capacité des LLM à faciliter l'accès à ces outils complexes sans avoir recours à un enseignant, en comparant une méthode d'apprentissage assistée par Chatgpt à un apprentissage encadré par un enseignant.

Face à la complexité de l'apprentissage de Grasshopper, on peut alors se demander quels outils peuvent vraiment aider les étudiants à apprendre la logique de la modélisation paramétrique ? Les intelligences artificielles génératives, comme ChatGPT, peuvent-elles aider à cet apprentissage de manière efficace, au point de remplacer un encadrement plus traditionnel ?

Je pense que même si ces outils aident à apprendre le logiciel comme un enseignement classique, je me demande est ce qu'ils sont capables de guider précisément l'étudiant pour résoudre des erreurs spécifiques ? Est ce qu'ils permettent une vraie compréhension des principes, ou se limitent-ils à des réponses génériques ?

Pour vérifier cela, je mènerai une expérimentation pédagogique comparative, en comparant deux groupes d'étudiants de l'ENSAPLV, un comprenant des étudiants inscrits à un cours intensif de modélisation paramétrique avec Grasshopper, L'autre groupe bénéficiera d'un apprentissage assisté majoritairement par ChatGPT, avec comme point commun les notions à apprendre et les exercices. L'objectif est d'évaluer dans quelle mesure l'utilisation de ChatGPT permet aux étudiants de développer des compétences en conception paramétrique avec Grasshopper, en comparaison avec un apprentissage assisté par un enseignant. Pour cela, des exercices intermédiaires et un projet final seront proposés aux deux groupes, et l'évaluation portera sur leur capacité à résoudre des problèmes, leur compréhension des limites du logiciel, leur efficacité d'exécution, leur compréhension théorique et leur perception de leur apprentissage. Les travaux finaux seront corrigés anonymement et les résultats seront comparés pour évaluer l'efficacité de chaque méthode.

Ce travail de recherche vise à fournir des solutions concrètes pour améliorer l'enseignement de cet outil de conception important en architecture, en intégrant les technologies de l'intelligence artificielle.

# **Chapitre I : Etat de l'art**

La première partie de mon mémoire de recherche rassemble une synthèse des connaissances que j'ai pu tirer de la littérature scientifique sur le sujet de l'intelligence artificielle générative et la modélisation paramétrique, dans un premier temps. Et une exploration des méthodologies de production de ces connaissances, dans un second temps. Ensuite, une problématique de recherche sera tirée, et une hypothèse sera proposée.

## **I-1- Modélisation paramétrique et ses enjeux :**

### **I-1-1- Mise en contexte et définitions**

La modélisation paramétrique représente une évolution importante dans les différents systèmes de conception en architecture. Avant son apparition, la conception s'appuyait sur des méthodes plus traditionnelles, limitées en termes de flexibilité et d'exploration de variantes. *(Coenders, Jeroen L. 2021)*

D'abord, la conception architecturale consistait à faire des dessins basiques en 2D, faits à la main ou à l'aide des logiciels CAO (Conception assistée par ordinateur) tel que Autocad. Ces outils, certes ils sont bien précis, mais ne permettent pas de modifier facilement le dessin ou d'explorer différentes variantes. En effet, Chaque modification nécessite un travail manuel important.

Par ailleurs, L'apparition du BIM (Building Information modeling), bien qu'elle soit certainement plus avancée que le CAO, en centralisant les informations liées à la construction dans des modèles tridimensionnels, et en rendant les processus de conception et de construction plus collaboratifs et plus coordonnés, mais il présente également des limitations en termes de liberté d'exploration de formes et de variantes. *(Coenders, Jeroen L. 2021)*

C'est dans ce contexte que la modélisation paramétrique est apparue, offrant une nouvelle façon de concevoir l'architecture. Contrairement aux autres méthodes évoquées ci-dessus, la modélisation paramétrique permet de proposer des langages de programmation visuels afin de manipuler des formes plutôt que

les dessiner manuellement. (Hindawi. 2023)(Coenders, Jeroen L. 2021). Ce qui permet aux concepteurs d'exprimer leur logique de manière plus interactive.

Jean-Pierre Couwenbergh et Mohamed-Anis Gallas, écrivent dans leur livre **“Conception paramétrique avec Rhino et Grasshopper, Applications en architecture, ingénierie et design”** : “ La modélisation paramétrique aboutit à l'élaboration d'un modèle qui ne représente pas un objet unique, mais la potentialité d'une famille d'objets appelés “instances”.”

Ce passage définit la modélisation paramétrique comme un outil qui permet de créer des modèles génériques, ces modèles sont capables de générer plusieurs variantes du modèle.

De même Aurélie De Bossieu, dans sa thèse de doctorat, définit la modélisation paramétrique comme “ une modélisation permettant plusieurs représentations d'un modèle.”.

D'après ces définitions, on peut dire que la modélisation paramétrique est un outil qui permet aux concepteurs de créer des modèles multiples à partir d'un seul modèle de base, en ajustant simplement certains paramètres.

## **I-1-2- Avantages de la modélisation paramétrique**

Selon l'étude de (Chew, Zhi Xian, Jing Ying Wong, Yu Hoe Tang, Chun Chieh Yip, et Tomas Maul. 2024) et ( coenders, Jeroen L. 2021), il apparaît que la modélisation paramétrique, grâce à l'apparition de systèmes comme **GenerativeComponents, Grasshopper et Dynamo**, elle ne nécessite pas de compétences avancées en programmation, en effet, elle requiert seulement une compréhension de base des étapes logiques. Ces outils utilisent des langages de programmation visuels qui simplifient l'expression de la logique de conception, ce qui rend leur adoption plus accessible pour les concepteurs et ingénieurs, sans avoir recours aux programmeurs spécialisés, réduisant ainsi les coûts.

En outre, la modélisation paramétrique aide les concepteurs à être flexibles surtout dans les premières phases de conception, car c'est un outil qui permet de modifier et d'ajuster facilement les modèles conçus. De plus, elle permet de créer

et de modéliser des formes complexes, tout en intégrant des données externes dans le processus de conception, ce qui pousse les architectes à repousser les limites de conception traditionnelle.

Parmi d'autres avantages les plus intéressants de cet outil de conception, c'est que ça permet d'avoir des résultats cohérents, en effet, chaque modification apportée à un paramètre est automatiquement appliquée sur tout le modèle, réduisant les erreurs et les incohérences entre les différents éléments du modèle.

### **I-1-3- Outils de modélisation paramétrique**

La modélisation paramétrique étant devenue un outil essentiel pour les architectes, leur permettant de créer des designs complexes et innovants, plusieurs logiciels existent. Parmi les populaires on peut citer :

#### **Grasshopper :**

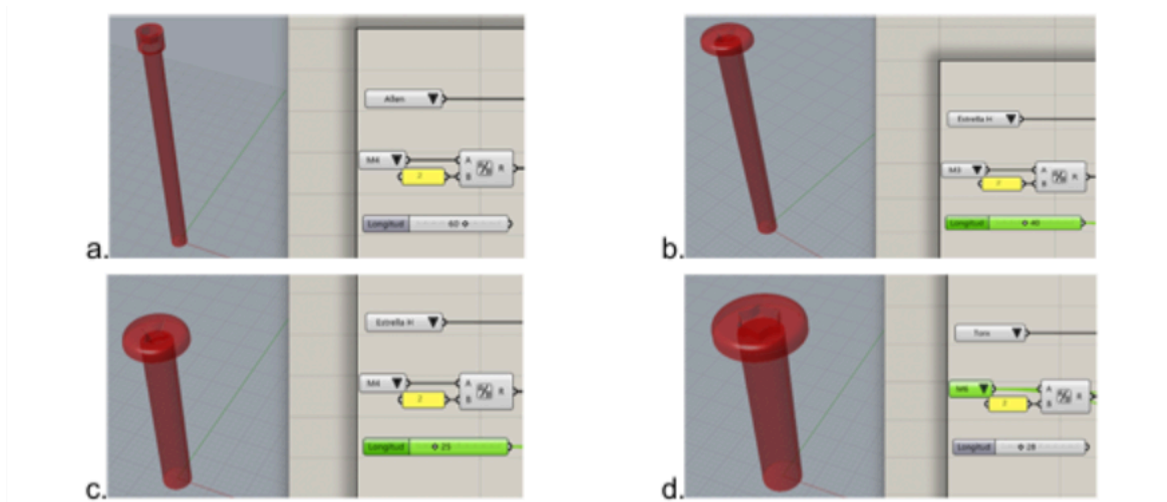
Est un plugin de modélisation paramétrique pour le logiciel 3D Rhinoceros apparu en 2007 (*Martí Vidal Planas. 2024*) (*Adeline STALS. 2019*), qui permet aux concepteurs de créer des modèles complexes et des modèles paramétriques en connectant des composants graphiques qui représentent différentes fonctions (*Guangxi Feng, Wei Yan*) (*coenders, Jeroen L. 2021*) (*Aurélie de Boissieu*). Ces composants sont reliés entre eux afin de former des algorithmes qui vont définir la géométrie du modèle.

Une définition simple de Grasshopper est celle de Bossieu D.A dans sa thèse : *“GH permet de construire une représentation symbolique d'un modèle visualisé sur la scène de Rhinocéros “*

Plusieurs recherches affirment que ce type de programmation nous évitera d'écrire des codes textuels, ce qui le rend plus accessible aux architectes et designers qui ne maîtrisent pas la programmation textuelle. *“ Aucune connaissance des structures de contrôles et plus généralement en algorithmique n'est requise”, Aurélie De Boissieu.*

De plus, il permet de contrôler chaque paramètre de chaque modèle à l'aide du composant “Number slider”, qui permet de modifier la taille, la forme, ainsi que

d'autres caractéristiques du modèle. (Martí Vidal Planas. 2024) (Jean-Pierre. C et Mohamed-Anis.G 2021)



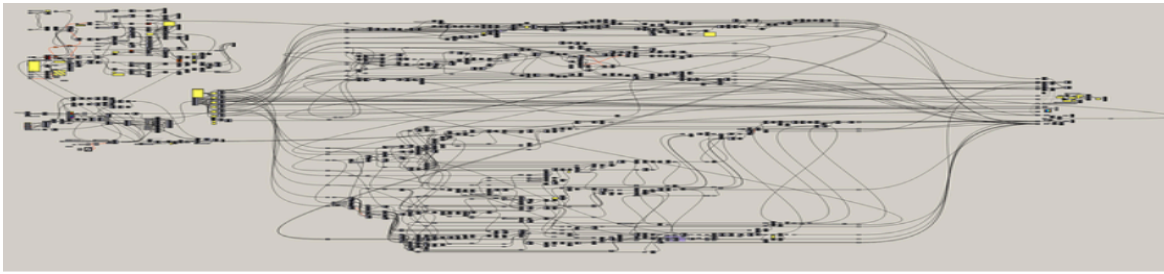
**Fig.1:** Image illustrant plusieurs variantes d'un modèle avec le même script.

**Source :** Vidal Planas, Martí. Bachelor thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, 2024.

### Limites de Grasshopper :

Grasshopper présente aussi certaines Limites, en effet, l'apprentissage de ce logiciel peut être difficile, car ça nécessite une bonne compréhension des concepts de la programmation visuelle, ainsi que certaines notions mathématiques et géométriques. (Martí Vidal Planas. 2024) (Adeline STALS. 2019). De plus, il contient beaucoup de composants et plugins, ce qui rend le temps de son apprentissage plus long. Aussi, les utilisateurs peuvent trouver des difficultés à corriger les bugs et les erreurs, leur obligeant de regarder des tutos afin de les résoudre (Martí Vidal Planas. 2024).

Aurélie De Bossieu, explique que lorsqu'il s'agit de grands projets, il peut être difficile de gérer le flux de travail à cause de la multitude de composants et arcs les reliant : " dès que plusieurs traitements, nœuds et arcs sont mis en œuvre, le modèle peut devenir peu lisible."



**Fig.2 :** Script Grasshopper d'un projet complexe illustrant la complexité du flux de travail.

**Source:** Daniel Krejci, "What's your largest grasshopper script" 2021.

Plusieurs études, comme celles de (Lecourtois, C. 2010) (Adeline STALS. 2019) concluent que Grasshopper a un impact sur la créativité de l'architecte, en effet, la dépendance aux définitions algorithmiques préexistantes et l'accent sur la technicité peuvent standardiser les conceptions et enfermer les architectes dans des solutions qu'ils maîtrisent même si elles ne sont pas les plus adéquates ce qui leur limite d'explorer de nouvelles idées.

### **Dynamo :**

*"Dynamo est un environnement de programmation graphique open source pour la conception. La première version de Dynamo a été publiée en 2011.", Darwn Nezamaldin 2019, c'est un outil similaire à Grasshopper, mais intégré à Revit, il aide les architectes qui utilisent Revit pour la modélisation de bâtiments*

L'étude de (Darwn Nezamaldin 2019) montre que Dynamo peut automatiser les tâches répétitives sur Revit, comme la création de familles, la mise en place d'éléments de la génération de documentation. *"en utilisant Dynamo en combinaison avec Revit, de nombreuses tâches peuvent être répétées beaucoup plus rapidement."* Un autre avantage de Dynamo c'est qu'on peut le connecter à d'autres logiciels comme Excel pour explorer certains résultats d'analyse.

En ce qui concerne les limites de Dynamo, les études montrent qu'il partage pratiquement les mêmes limites avec Grasshopper en termes de temps d'apprentissages et de complexité de script. Cependant Darwn Nezamaldin montre une limite qu'on n'a pas vu ci-dessus avec Grasshopper, c'est que Dynamo peut parfois être moins performant que Revit pour des tâches simples.

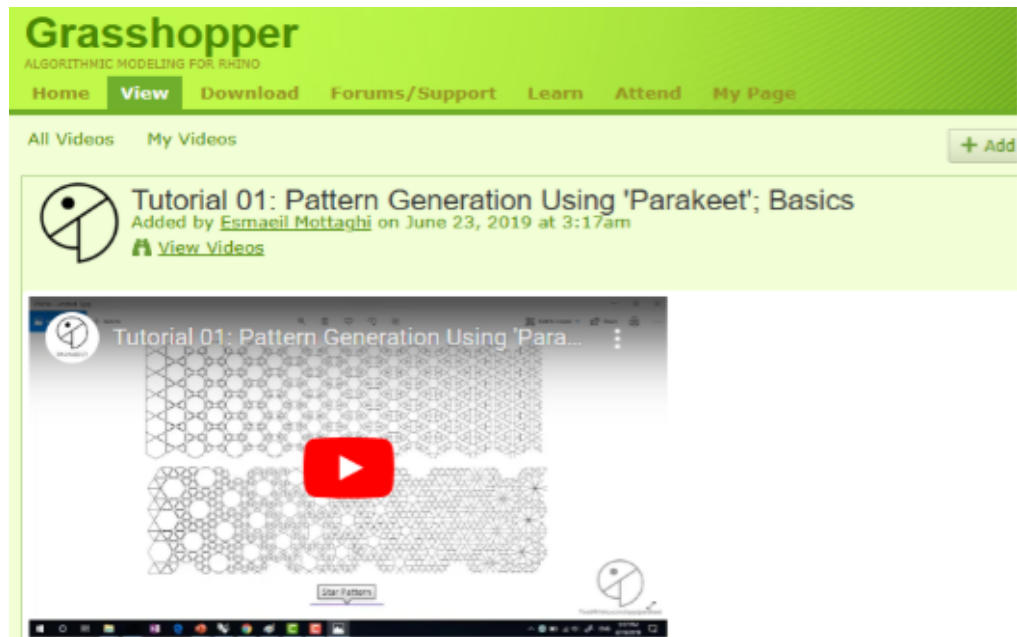
#### **I-1-4- Apprentissage de la modélisation paramétrique**

La modélisation paramétrique étant un outil de conception important pour développer la conception architecturale contemporaine, son apprentissage est nécessaire par les concepteurs, dans ce cadre, certaines recherches proposent des méthodes d'apprentissage de la modélisation paramétrique. Dont la méthode des patterns développée par Robert Woodbury et décrite par *Aurélie de Boissieu* dans sa thèse. Elle propose de s'appuyer sur des solutions génériques déjà éprouvées, appelées "samples". Les samples rendent l'apprentissage plus concret, et aident les apprenants à comprendre comment un pattern théorique se traduit dans un cas spécifique. Ce qui offre une compréhension de la modélisation paramétrique.

Cet outil rend l'apprentissage facile à saisir, et permet aux apprenants de progresser à leur rythme, en utilisant des modèles déjà existants pour les modifier et expérimenter avec. En explorant plusieurs samples, les apprenants améliorent au fur et à mesure leur méthode de modélisation. Tout en renforçant leur compréhension de leur savoir-faire en modélisation paramétrique.

*Aurélie Bossieu* aborde aussi d'autres méthodes d'apprentissage de modélisation paramétrique, tel que l'utilisation des supports en lignes comme les sites web d'éditeurs de logiciels comme, [grasshopper3d.com](http://grasshopper3d.com) pour grasshopper ou [bentley.com/gc](http://bentley.com/gc) pour Generative Component, ces sites proposent des documentations, des tutoriels ainsi que des forums de discussion. De plus, certains sites proposent des collections de "samples", des fragments de modèles paramétriques réutilisables, c'est le cas de [parametricmodels](http://parametricmodels.com) et [codequotidien](http://codequotidien.com).

Il existe encore plusieurs autres sites et plateformes d'agences qui proposent des blogs et tutos pour l'apprentissage.



*Fig.3 : Capture d'écran de l'interface du site grasshopper3d.com*

**Source :** Auteur.

Bien que ces méthodes d'apprentissage aident à l'apprentissage d'un outil de conception important en architecture, mais ça présente quand même des limites. En effet, la quantité d'informations trouvées sur les différents sites peut rendre la navigation plus difficile, et le manque de structuration de quelques plateformes complique la recherche du contenu nécessaire. Par ailleurs, les "samples" et les tutoriels, ne peuvent pas toujours prendre en compte les spécificités de chaque projet architectural. De plus, si les architectes utilisent beaucoup les modèles préconçus, cela risque de limiter leur créativité, ainsi que leur capacité à développer leurs propres solutions.

## **I-2- L'intelligence artificielle et ses enjeux**

Ce concept est apparu la première fois en 1956 par l'informaticien américain John McCarthy, et vise à créer des machines capables de simuler l'intelligence humaine, notamment les processus de raisonnement, d'apprentissage et d'autocorrection. Ensuite, elle a continué à progresser au fil du temps, notamment ces dernières années grâce aux progrès de l'informatique.

### **I-2-1- Intégration de l'IA en architecture :**

L'intelligence artificielle est un outil utilisé dans plusieurs domaines tels que la santé, les entreprises, et aussi dans l'éducation et l'apprentissage. Elle permet notamment d'accéder à des ressources éducatives et facilite l'apprentissage des étudiants.

Dans le domaine de l'architecture, bien qu'elle ne soit pas encore pleinement adoptée contrairement à d'autres secteurs, elle offre de nombreuses opportunités. Elle peut être utilisée pour analyser des projets architecturaux existants, fournir des informations sur les architectes, les styles, et les mouvements architecturaux. Elle facilite également le processus de conception, à travers la génération d'idées créatives qu'on peut intégrer dans les projets. De plus, ça aide les architectes à rédiger des descriptions détaillées de leurs conceptions pour mieux communiquer avec leurs clients. L'IA peut également aider à la création des idées de design intérieur, notamment le choix de matériaux et de couleurs. De plus, elle permet aux concepteurs d'automatiser certaines tâches répétitives, ce qui leur offre plus de temps pour se concentrer sur des aspects créatifs. Cependant, l'intégration de l'IA en architecture présente certains risques. Par exemple, une erreur de calcul non vérifiée pourrait entraîner des conséquences graves.

### **I-2-2- L'IA générative :**

L'IA générative est un type d'intelligence artificielle capable de créer de nouveaux contenus, tels que du texte, des images, de la musique ou des modèles 3D. L'IA générative est donc capable de produire des données originales et créatives. Elle peut également interagir avec des logiciels de modélisation paramétrique tel que Grasshopper.

#### **Chatgpt (quels impacts sur la modélisation paramétrique ?)**

Chatgpt est un modèle connu de langage génératif développé par OpenAI. Il peut être utilisé pour générer du texte, traduire des langues et écrire différents types de contenu créatif. Il est utilisé dans plusieurs domaines, dont l'architecture et notamment en modélisation paramétrique.

Certaines études comme celle de (*Martí Vidal Planas 2024*) explorent l'utilisation de Chatgpt en architecture, notamment en modélisation paramétrique. Chatgpt peut être utilisé en modélisation paramétrique en générant un Code Python pour grasshopper, et ce à partir d'instructions en langage naturel que le concepteur lui donne. Cela peut simplifier la création de modèles complexes, surtout pour les utilisateurs qui ne sont pas familiers avec la programmation. Grasshopper étant principalement un logiciel qui favorise la programmation visuelle, Chatgpt peut fournir des explications claires des étapes nécessaires pour créer un modèle à partir du texte ou des images du modèle souhaité. Cette fonctionnalité aide les concepteurs à apprendre grasshopper sans avoir recours aux tutos YouTube qui sont moins efficaces, notamment en termes de temps. De plus, Il est capable d'analyser un code Python déjà existant et le réduire afin de le rendre plus facile à comprendre.

Par ailleurs, une connaissance des principes fondamentaux de la modélisation paramétrique reste essentielle pour utiliser efficacement ChatGPT dans Grasshopper.

### **Text2vp**

C'est un modèle GPT personnalisé qui a été conçu par *Guangxi Feng* et *Wei Yan* du *Department of Architecture de Texas A&M University*. Leurs recherches se concentrent sur l'intégration de l'intelligence artificielle générative dans la conception architecturale, en particulier dans le domaine de la modélisation paramétrique. Ce modèle génère automatiquement des workflows de programmation visuelle dans grasshopper à partir du texte.

De plus, son fonctionnement est basé sur l'automatisation des étapes de connexion des composants, généralement faites par le concepteur, qui permettent de créer le modèle géométrique souhaité, en effet, le concepteur se charge juste de décrire en langage naturel son modèle, afin que text2vp puisse générer un script qui configure automatiquement les composants dans grasshopper, ensuite l'utilisateur est libre de modifier les paramètres pour différentes variations du modèle.

Ainsi, Text2VP, étant un modèle personnalisé à partir du modèle GPT4, il est entraîné sur un ensemble de données comprenant la documentation complète

des composants Grasshopper, des exemples de modélisation avec leurs scripts correspondants et des instructions descriptives spécifiques.

Selon les tests effectués sur text2vp, il est déduit que cet outil peut comprendre des descriptions de texte en langage naturel, même si elles contiennent quelques erreurs mineures. Il est également capable de générer des scripts qu'on peut contrôler pour paramétrer les différents aspects des modèles géométriques, tel que le rayon, la position et la forme des objets.

### I-2-3- Limites de l'IA générative :

L'IA générative est un bon outil qui aide les concepteurs à faire des modèles paramétriques, cependant, elle présente certaines limites et peut conduire à des erreurs qui peuvent entraver son application efficace. Les exemples évoqués ci-dessus (Chatgpt et Text2vp), vu qu'ils sont formés sur des données, la pertinence de leurs réponses et résultats générés dépend donc de la qualité de ces données. En effet, si les données utilisées pour programmer ces modèles d'IA sont limitées ou incomplètes, ils vont forcément générer des résultats inexacts parfois.

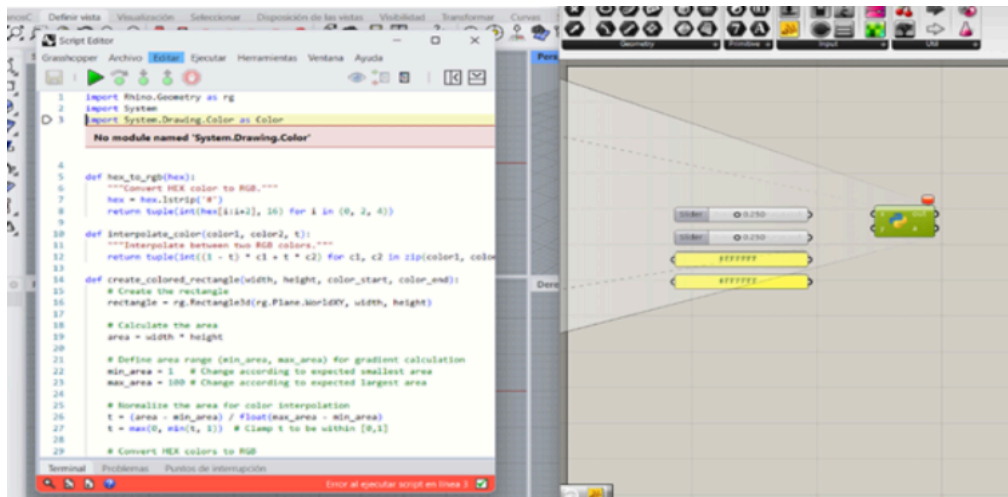


Fig.4 : Image illustrant un code Python erroné, généré par l'IA

Source : Vidal Planas, Marti. Bachelor thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, 2024.

En outre, il a été prouvé dans plusieurs études que les principales erreurs de l'IA générative sont généralement des erreurs de syntaxe ou de logique, mais aussi, des erreurs d'orthographe dans les noms des composants de Grasshopper, ou même l'invention de termes inexistantes. De plus, elle peut parfois mal placer des composants sur le canevas (l'espace de travail de Grasshopper), ce qui conduit à des erreurs nécessitant des corrections manuelles.

Ainsi, Chatgpt étant formé sur des données s'arrêtant en 2022, il peut donc inventer des résultats, ou donner des réponses obsolètes.

Par ailleurs, l'IA générative corrige, généralement, les erreurs qu'on lui signale, comme les fautes d'orthographe dans les noms des composants, *“Une erreur fréquente dans les scripts initiaux est la mauvaise orthographe”, Wyan et Feng.* Cependant, cela nécessite plusieurs interactions et des instructions précises, surtout pour les erreurs complexes, nécessitant parfois des instructions explicites de l'utilisateur.

*“Text2VP ne parvient pas à corriger les erreurs par lui-même après avoir simplement signalé l'existence”, Wyan et Feng.*

## **Chapitre II : Dispositif de recherche**

## **II-1- Problématique et hypothèse :**

A travers ma recherche d'articles sur mon sujet, Je peux dire que l'utilisation de la modélisation paramétrique en architecture a connu une évolution importante surtout après la création de Grasshopper et Dynamo, mais aussi l'intégration de l'intelligence artificielle qui a été largement utilisée pour optimiser la conception paramétrique, pourtant, peu d'études se sont penchées sur son rôle dans l'apprentissage de la modélisation paramétrique. Cette recherche vise ainsi à combler ce vide en explorant la manière dont l'intelligence artificielle, notamment via des outils comme ChatGPT, peut influencer l'apprentissage de ces logiciels, en comparaison avec un apprentissage encadré par un enseignant, plus traditionnel et structuré. Dans ce cadre, ma problématique se pose ainsi :

**Dans quelle mesure l'utilisation de chatgpt permet-elle aux étudiants de développer des compétences en conception paramétrique avec Grasshopper, comparée à un apprentissage guidé par un enseignant ?**

Dans un cadre où la modélisation paramétrique devient de plus en plus essentielle pour la conception architecturale, il est essentiel de comprendre si l'IA peut jouer un rôle dans l'automatisation des processus d'apprentissage de cet outil de conception jugé complexe, en aidant les utilisateurs à bien les maîtriser. De plus, la technologie de l'intelligence artificielle évolue rapidement ces dernières années, en montrant sa capacité à automatiser et à simplifier des processus cognitifs dans plusieurs domaines, son application dans l'apprentissage reste encore moins exploitée. A travers ce travail de recherche, j'aimerais non seulement combler une lacune dans la littérature académique, mais aussi fournir des solutions pour améliorer l'enseignement d'un outil de conception important en architecture, en intégrant les technologies de l'intelligence artificielle.

## Hypothèse

***“ L'apprentissage de Grasshopper avec ChatGPT permet d'acquérir une maîtrise des fonctions de base du logiciel comme les outils et la logique général du logiciel, tout comme un enseignement classique. Cependant, l'enseignement classique est plus efficace quand il s'agit de comprendre les erreurs rencontrées lors de la modélisation, car il permet de les expliquer et de les résoudre de manière précise et ciblée selon le contexte du projet.”***

## II-2- Méthode et outils :

Afin de répondre à ma problématique, j'ai adopté une expérimentation pédagogique comparative, qui vise à analyser deux méthodes d'apprentissage d'un même outil de modélisation paramétrique qui est Grasshopper, selon deux contextes distincts :

- 1. Un apprentissage classique encadré par un enseignant,**
- 2. Un apprentissage assisté par ChatGPT.**

Cette expérimentation se déroulera en plusieurs étapes :

### **A- Constitution du corpus et répartition des groupes**

Le corpus de l'étude est constitué de deux groupes d'étudiants de l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Paris La Villette (ENSAPLV).

Ces deux groupes étaient constitués par un critère important : **l'absence d'expérience préalable avec Grasshopper**. Une familiarité avec Rhino n'était pas un motif d'exclusion.

- **Groupe 1 (Cours obligatoire)** : Composé de **25 étudiants de niveau Licence 3**. Leur participation était intégrée à un cours obligatoire de modélisation paramétrique, sous la forme d'un cours intensif organisé par l'école sous l'encadrement de Mme Léa Seatler.
- **Groupe 2 (Volontaires)** : Constitué de **15 étudiants**, choisis par moi-même sur la base du volontariat. Ces étudiants avaient des niveaux plus variés, allant de **L3 à M2**. 26 étudiants (Camarades et amis) ont été contactés, parmi lesquels 18 ont accepté de participer à l'expérimentation. Cependant, seulement 15 ont été choisis, car les 3 restants avaient déjà certaines connaissances de l'outil, donc ne répondant pas au critère.

Les conditions matérielles et spatiales différaient entre les groupes :

- **Groupe 1** : L'enseignement s'est déroulé dans une **salle informatique de l'ENSAPLV**, utilisant le matériel informatique fourni par l'établissement.
- **Groupe 2** : Les séances de travail ont eu lieu dans la **salle d'étude de ma résidence étudiante à Bobigny** à 15-20 minutes de l'école. Les participants utilisaient leurs **ordinateurs personnels**.

Malgré ces différences, les deux groupes bénéficiaient d'une **connexion internet stable**, et l'accès à la documentation, aux tutoriels et aux ressources en ligne était autorisé pour tous.

### **Durée et temps de travail**

Le volume horaire d'apprentissage était équivalent, soit **environ 18 heures réparties sur 2.5 jours** pour chaque groupe.

### **B- Observation des deux groupes :**

Ma méthode se base sur une **observation directe**, menée auprès d'étudiants qui découvrent pour la première fois l'usage de Grasshopper. J'observe leurs comportements pendant les séances : la manière dont ils écoutent, testent, se bloquent, demandent de l'aide ou échangent entre eux. Pour garder une trace continue de ces situations, je circule régulièrement dans la salle afin de voir l'avancement de chacun et de noter leurs état d'avancement, leurs échanges et les difficultés rencontrées. Ces notes me permettent ensuite de décrire les différentes attitudes d'apprentissage et les formes d'interaction qui se construisent dans le groupe.

La même démarche sera ensuite reproduite auprès d'un second groupe d'étudiants de même niveau, qui apprendra le même contenu mais cette fois avec l'encadrement de ChatGPT, sans assistance humaine directe. Ce parallèle me permettra d'observer les différences entre un apprentissage classique, assisté par un enseignant, et un apprentissage plus individuel, assisté par un outil d'intelligence artificielle.

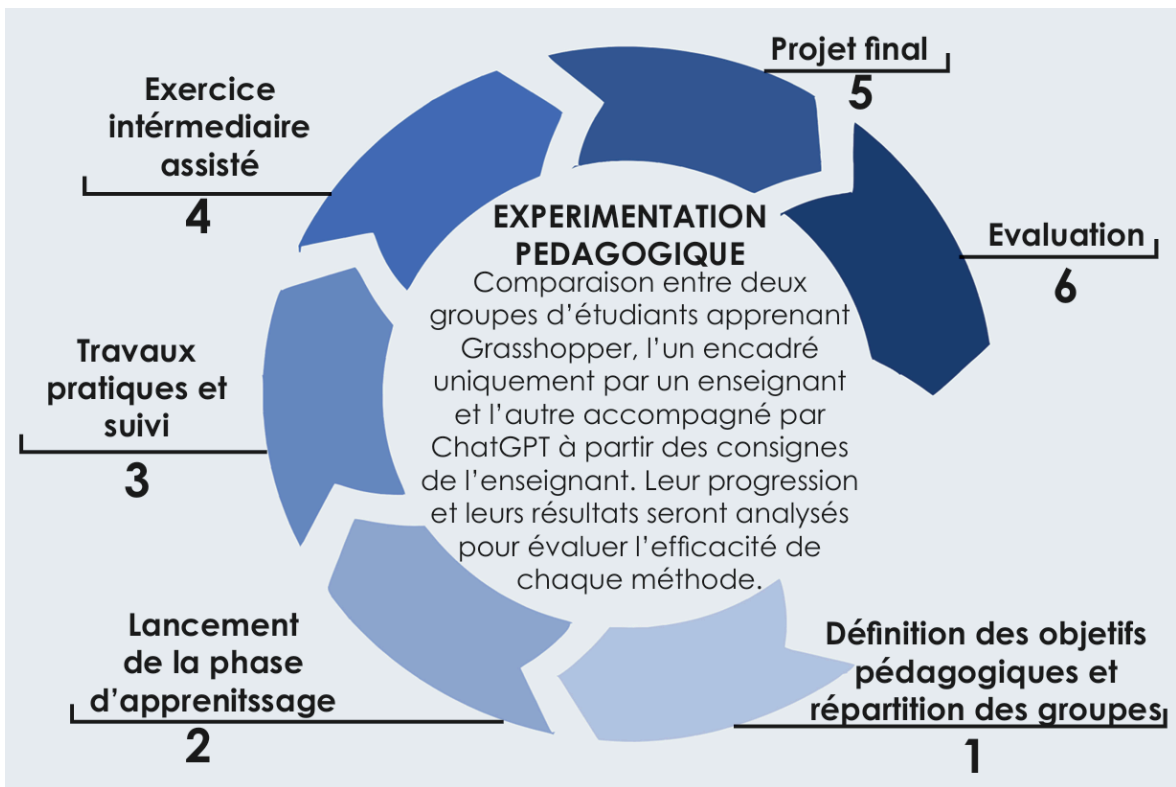
L'ensemble de ces observations constituera un corpus d'analyse à partir duquel je comparerai les deux dispositifs.

Afin que les résultats des deux groupes soient comparables, les notions à apprendre et les exercices à réaliser sont identiques pour les deux groupes. L'objectif est que tous les étudiants apprennent le même contenu pédagogique, mais en utilisant deux méthodes d'apprentissage différentes.

### Modalité d'évaluation :

L'exercice final consistait en la réalisation d'un script Grasshopper mobilisant les notions abordées durant la phase d'apprentissage.

Les travaux des deux groupes ont été corrigés par Adnane.G, un ami architecte maîtrisant Grasshopper dans un cadre professionnel. Il a été sollicité par moi-même afin de corriger l'ensemble des travaux des deux groupes.



**Fig.5 :** Schéma global de la méthode de recherche

**Source :** Auteur.

## **Chapitre III : Déroulement de l'expérience**

Avant d'aborder le déroulement des deux phases de l'expérience, il est important de préciser le contexte de celle-ci. En effet, J'ai échangé avec l'enseignante responsable du cours intensif de Grasshopper afin de comprendre le contenu pédagogique et les objectifs du cours. Cela m'a permis d'avoir une vision claire sur le cadre d'enseignement, afin de constituer un point de départ pour la mise en place de l'expérimentation.

L'observation du groupe encadré par l'enseignante a été menée en premier. et c'est à partir de là que j'ai construit le second dispositif d'apprentissage, afin d'avoir une logique de comparaison la plus équitable possible. Par exemple, le fait que les étudiants de ce groupe n'ont jamais utilisé Grasshopper auparavant, m'a obligé à constituer un second groupe d'étudiants ayant le même niveau.

De plus, lors de l'exercice final, les étudiants du groupe 1 étaient autorisés à utiliser des supports de cours, et des tutoriels. et les étudiants du groupe 2 étaient autorisés à interagir avec ChatGPT durant la réalisation de l'exercice final. Ce qui était un point favorable pour ce groupe qui a été assisté en continu pendant la réalisation de cet exercice. Ce choix a légèrement modifié l'intention initiale, qui était d'évaluer une autonomie totale sans assistance. Cela permet tout de même d'analyser l'efficacité de chaque méthode dans des conditions réalistes, proches de celles rencontrées par les étudiants en situation réelle.

### **III-1- Phase d'apprentissage avec un enseignant**

Tous les étudiants de ce groupe n'ont jamais utilisé cet outil auparavant. Ils ont été encadrés par l'enseignante Léa Seatler, en suivant la méthode suivante :

- Dans un premier temps, l'enseignante introduit l'outil numérique, en expliquant ses fonctions, ses objectifs et sa complémentarité avec Rhino. Cette étape visait à contextualiser l'usage de l'outil et à donner aux étudiants une vision globale de son utilité.
- Ensuite, elle passait à une phase de démonstration : elle présentait l'interface de base de Grasshopper, en détaillant les différents outils disponibles et leurs usages principaux. À travers des manipulations concrètes, elle montrait comment certains outils fonctionnent.

- Une fois cette démonstration terminée, la séance entrait dans une phase de mise en pratique guidée. Pour chaque outil présenté, l'enseignante proposait de petits exercices d'application, permettant aux étudiants de manipuler l'interface par eux-mêmes. Elle circulait alors entre les groupes, observait leurs réalisations, répondait aux questions et aidait à résoudre les problèmes rencontrés pour une meilleure compréhension de l'outil.



**Fig.6** : Photographie de la phase de démonstration en classe.

**Source** : Auteur.

- Enfin, le cours se conclut par un exercice final, plus complet: Certains parvenaient à le faire seuls, tandis que d'autres s'appuyaient sur des tutoriels, ou sur les notes du cours. Cette étape permettait d'évaluer l'acquisition des compétences techniques et la capacité à mobiliser l'outil dans un contexte de projet.

### III-2- Phase d'apprentissage avec un Chatgpt

- Le deuxième groupe a été constitué par **moi-même**, il comprend des étudiants n'ayant également jamais manipulé cet outil, afin d'avoir des résultats fiables. Ces étudiants apprennent Grasshopper grâce à Chatgpt, en suivant le syllabus de Léa. Et en faisant les mêmes exercices, en suivant la méthode suivante.
- Le premier jour de l'expérimentation, le groupe a été accueilli dans la salle d'étude. J'ai alors exposé le contexte de ma recherche ainsi que le déroulement de l'expérience. J'ai ensuite introduit le concept de modélisation paramétrique aux étudiants en leur présentant Grasshopper. Cette introduction s'est appuyée sur le cours initial donné par Léa au premier groupe. Par la suite, j'ai demandé aux étudiants de démarrer une nouvelle conversation avec ChatGPT afin de commencer leur apprentissage, en leur fournissant des exemples de questions de départ pour faciliter leur lancement.
- Dans un premier temps, les étudiants sollicitent ChatGPT pour introduire l'outil. Ils demandaient à l'IA d'expliquer les fonctions de Grasshopper, sa logique, le rôle des composants, ainsi que sa complémentarité avec Rhino. Cette étape visait à obtenir une vision générale de l'outil, souvent sous forme de descriptions textuelles détaillées, sans démonstration visuelle.

Apprend moi les fonction de base du logiciel Grasshopper

je suis étudiant en architecture et je dois apprendre Grasshopper, apprend moi sachant que je ne l'ai jamais manipulé

comment ouvrir grasshopper depuis rhino

Comment rechercher les outils dans grasshopper sans passer par la barre d outils en haut ? Genre comme dans les autres logiciels, il y a généralement une barre de recherche, mais ici je la trouve pas ??

**Fig.7** : Ensemble de prompt utilisé par différents étudiants

**Source** : Captures d'écran des discussion étudiant/Chatgpt

- Ensuite, ils passaient à une phase d'exploration guidée : en posant des questions spécifiques comme « Comment diviser une courbe ? », « Comment créer une surface ? », ou « À quoi sert ce composant ? », les étudiants obtenaient des explications pas à pas. ChatGPT décrivait alors l'interface de base, présentait les composants essentiels et expliquait leur fonctionnement, parfois en listant les étapes nécessaires pour produire un modèle simple. Cette phase remplaçait la démonstration visuelle de l'enseignante, mais reposait entièrement sur la précision des questions posées par les étudiants.

### 1. Grasshopper, c'est quoi (version simple)

Grasshopper, c'est un **outil de conception paramétrique** qui fonctionne avec Rhino.

👉 Au lieu de dessiner "à la main" (cliquer → tracer → modifier), tu :

- définis des **règles**
- relies des **composants**
- changes des **paramètres**
- et la forme se met à jour automatiquement

👉 Tu ne dessines pas des formes, tu **construis une logique**.

Exemple très simple :

"Je veux 10 rectangles, espacés régulièrement, et si je change le nombre → tout se met à jour"

### 2. Comment ouvrir Grasshopper

1. Ouvre **Rhino**
2. Tape dans la ligne de commande :

nginx

📄 Copier le code

Grasshopper

3. Une nouvelle fenêtre s'ouvre → c'est **Grasshopper**

**Fig.8** : Exemple d'une réponse ChatGPT

**Source** : Captures d'écran des discussion étudiant/Chatgpt

y a des choses que j ai pas capté, explique moi tout depuis le début dans les détails pour bien apprendre toutes les bases du logiciel

Parfait 🍌

On reprend **vraiment depuis zéro**, comme si tu n'avais **jamais vu Grasshopper**, et je vais **tout expliquer**, même les choses que les profs oublient souvent.

Lis tranquillement, et ouvre Rhino + Grasshopper en même temps.

Je vais avancer **lentement**, avec **des notions claires**, pas juste des recettes.

## 1. AVANT GRASSHOPPER : COMMENT IL FAUT PENSER

### 1.1 Différence Rhino / Grasshopper (fondamental)

#### Rhino

- Tu **dessines directement**
- Une ligne = un objet figé
- Si tu veux modifier → tu redesses ou tu ajustes

#### Grasshopper

- Tu **ne dessines pas**
- Tu **donnes des instructions**
- Les formes sont le **résultat d'un calcul**

🍌 Grasshopper = machine à fabriquer de la géométrie

**Fig.9** : interaction Étudiant/ChatGPT suite à une incompréhension

**Source** : Captures d'écran des discussion étudiant/Chatgpt.

- Une fois ces explications obtenues, la séance entrait dans une phase de mise en pratique accompagnée : pour chaque notion du syllabus, les étudiants réalisaient de petits exercices d'application. Lorsqu'un problème apparaît (bug, composant mal connecté, message d'erreur), ils interrogent ChatGPT pour comprendre l'origine du blocage et obtenir une démarche corrective. L'IA proposait alors des pistes de résolution, des alternatives, ou demandait à l'étudiant de décrire plus précisément son script. Cette interaction, principalement textuelle, nécessitait de la part des étudiants un effort important de verbalisation.

J'ai fait l'étape 4 mais les panneau n'ont pas été dispatchés

Pas de souci, je vais t'expliquer comment corriger cela et faire en sorte que tes panneaux soient bien dispatchés.

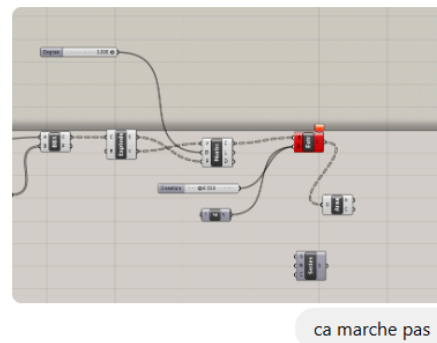
**Pourquoi ça ne marche pas :**

Si les panneaux ne sont pas dispatchés correctement, il y a probablement un problème avec la manière dont tu as défini le motif de dispatch (le **Pattern**). Assure-toi que les valeurs de **Z** (hauteur) sont bien utilisées pour contrôler la division.

Voici comment corriger cela étape par étape :

**Fig.10 :** Interaction Étudiant/ChatGPT suite à un bug.

**Source :** Captures d'écran des discussion étudiant/Chatgpt.



Je vois maintenant d'où vient le problème. Le composant **Extrude** est rouge, ce qui signifie que quelque chose ne va pas dans le flux de données, probablement au niveau des entrées. Voici les points à vérifier et les corrections nécessaires :

**Fig.11 :** Interaction Étudiant/ChatGPT suite à un bug.

**Source :** Captures d'écran des discussion étudiant/Chatgpt.

- Enfin, la session se conclut par un exercice final, équivalent à celui du groupe 1, que les étudiants devaient réaliser en autonomie. Certains parvenaient à le faire avec une grande efficacité en suivant les indications de ChatGPT, tandis que d'autres nécessitent plusieurs échanges avec l'IA ou de longues reformulations pour clarifier leurs erreurs. Cette étape permettait d'évaluer la capacité de chaque étudiant à mobiliser les explications textuelles fournies par l'IA pour construire un script cohérent dans un contexte de projet.

donne moi chaque etape en detail psq je maitrise pas du tout ce logiciel


📖 Éléments mémorisés mis à jour

Pas de souci ! Je vais te guider pas à pas pour créer ce modèle paramétrique sur Grasshopper, en détaillant chaque étape. Voici le processus complet :

### Étape 1 : Création des courbes guides

1. **Lance Grasshopper** : Si tu ne l'as pas encore ouvert, ouvre Rhino et tape **Grasshopper** pour afficher l'interface de Grasshopper.
2. **Création des courbes guides** :
  - Utilise le composant **Arc** ou **Curve** pour créer les deux courbes qui guideront la forme finale.
  - Pour cela, cherche le composant **Arc** dans le panneau de Grasshopper (tu peux utiliser la barre de recherche pour le trouver rapidement).
  - Clique sur l'icône du composant et dépose-le sur le canvas (zone de travail de Grasshopper).
  - Fais deux arcs distincts en ajustant les points de départ et de fin.

### Étape 2 : Création du profil circulaire

1. **Création du cercle à la base** :
  - Cherche le composant **Circle** (Curve → Primitive → Circle) et place-le sur le canvas.
  - Tu vas définir ce cercle comme profil pour le balayage.
2. **Définir le centre du cercle** :
  - Le centre du cercle doit se situer à mi-chemin entre les points de départ des deux courbes guides.
  - Pour cela, utilise le composant **Line** (Vector → Line → Line) pour tracer une ligne entre les deux points d'origine de tes courbes.
3. **Calcul du milieu de la ligne** : 

**Fig.12** : Demande d'aide pour un exercice.

**Source** : Captures d'écran des discussion étudiant/Chatgpt.

ok mais le probleme c que la ligne que j ai obtenue ne relie pas vraiment les deux point de l arc, j ai eu une ligne en bas et panchée

D'accord, je comprends le problème. Si la ligne que tu as créée ne relie pas correctement les deux points de départ des arcs, c'est probablement parce que les points ne sont pas placés correctement ou que tu n'as pas pris les bons points de référence sur chaque arc.

Voici comment tu peux corriger cela :

#### Étapes pour relier correctement les points d'origine des arcs :


##### 1. Vérifie les points d'origine des arcs :

- Le **point d'origine** d'un arc est le premier point utilisé pour le créer (le point **P1** dans le composant **Arc (3 Points)**).
- Assure-toi que tu relies bien le **premier point** de chaque arc au composant **Line**. Si tu utilises d'autres points (comme le point intermédiaire ou le point final), cela peut causer une ligne mal orientée.

##### 2. Ajouter une ligne entre les bons points :

- Supprime la ligne existante si elle est incorrecte.
- Va dans **Vector** → **Line** → **Line** pour ajouter un nouveau composant **Line**.
- Relie :
  - Le **point de départ** (le point **P1**) du **premier arc** au paramètre **A** de la ligne.
  - Le **point de départ** (le point **P1**) du **deuxième arc** au paramètre **B** de la ligne.

##### 3. Vérifie l'orientation de la ligne :

- La ligne devrait maintenant relier correctement les deux points de départ des arcs.
- Si la ligne semble toujours décalée, vérifie  les points de départ des arcs sont bien alignés comme tu le souhaites. Tu peux ajuster leur position en modifiant leurs coordonnées via les

**Fig.13 :** Demande d'aide suite à une erreur de fonctionnement.

**Source :** Captures d'écran des discussion étudiant/Chatgpt.

### Remarque importante :

Dans le cadre de cette expérimentation, le groupe 2 a été autorisé à utiliser ChatGPT pendant l'exercice final, ce qui n'était pas l'intention initiale.

Ce choix répond à une logique simple : les étudiants du groupe 2 ne disposaient pas d'un support de cours structuré. L'accès à ChatGPT constituait donc leur principal outil d'aide pour apprendre et surtout comprendre les erreurs et progresser dans la construction du script.

Cependant, cette décision a une conséquence importante :

Les résultats du groupe 2 ne mesurent pas une autonomie totale « sans aide »,

mais une autonomie avec outil **d'assistance directe** contrairement au groupe 1, qui avait aussi un accès à l'aide mais **sans assistance directe**, car il s'agissait uniquement d'un accès aux supports de cours et des tuto youtube.

Autrement dit, les performances observées reflètent la capacité des étudiants à utiliser efficacement ChatGPT pour résoudre des problèmes, et non uniquement leur compréhension personnelle du logiciel.

Cela pourrait influencer les résultats :

- certains problèmes ont pu être résolus plus rapidement
- certaines solutions ont pu être suggérées directement par l'outil
- La comparaison entre les deux groupes devient moins strictement équivalente.

Cette limite n'annule pas l'expérimentation, mais elle a été prise en compte dans l'interprétation des résultats.

L'étude ne compare donc pas vraiment deux autonomies identiques, mais deux situations différentes : l'une sans intelligence artificielle, l'autre avec assistance par IA.

### **Observation :**

J'ai observé différents types de demandes durant cette expérience, certains étudiants posaient des questions assez précises, par exemple sur un composant ou une erreur dans leur script, tandis que d'autres demandaient directement les étapes pour réaliser tout l'exercice, Cela montre que ces étudiants cherchent une solution toute faite, ce qui peut éventuellement **influencer leur apprentissage**. Mais, ce qui j'ai trouvé pertinent dans ce type d'interaction, est que ChatGPT ne se contente pas seulement de fournir des étapes à suivre pour avoir un résultat final fonctionnel, en effet, ses réponses sont accompagnées **d'explications détaillées**, en expliquant le rôle de chaque étape/composant, ainsi que les raisons pour lesquelles une telle action est effectuée. Cela permet aux étudiants de comprendre comment fonctionne Grasshopper, même s'ils partent d'une demande assez directe.

### **III-3- Collecte de données**

Dans le groupe de l'enseignement classique, j'ai adopté une posture d'observation participante. J'ai été présent pendant le cours, ce qui m'a permis non seulement d'observer et de prendre des notes sur la méthode d'enseignement mentionnée ci-dessus, mais surtout d'observer et recueillir des données sur le comportement des étudiants pendant le cours et au moment de la réalisation des exercices, notamment par rapport à la manière dont ils appliquent les connaissances apprises dans une situation concrète.

Pour suivre les étudiants en continu, je passais régulièrement voir où en était chacun et je notais leur progression au fur et à mesure, en prenant en compte les actions et les comportements suivants :

- Travail de modélisation en cours (lorsque l'étudiant est en train d'avancer sur l'exercice et fait des tests)
- Consultation des documents du prof ou tutos (certains étudiants reviennent sur les supports de cours, notamment les tutos pour comprendre l'utilité de certains composants par exemple)
- Demande d'aide à l'enseignant ou Chatgpt
- Erreur rencontrée (l'étudiant reste bloqué malgré plusieurs tests)
- Erreur surmontée (lorsque l'étudiant surmonte une erreur après plusieurs essais ou recours au prof)
- Discussion avec un camarade

Pour le groupe utilisant ChatGpt, mon observation se concentre plus sur la collecte des discussions et des interactions avec Chatgpt. Ces interactions me permettent d'analyser les mêmes points que pour le premier groupe (interactions, méthode d'explications...etc)

**Données générales (Groupe 1) :**

	<b>Données</b>	<b>Commentaire</b>
<b>Expérience préalable en logiciels</b>	Rhino/Grasshopper : jamais utilisé par tous les étudiants.	Ceci peut influencer la vitesse d'apprentissage de Grasshopper.
<b>Avantages perçus du numérique</b>	Modifications facilitées, possibilité de tester plusieurs options, production rapide de rendus esthétiques.	Les étudiants voient le numérique comme un outil de gain de temps et de flexibilité.
<b>Limites perçues du numérique</b>	Perte du dessin à la main, risque d'appauvrir la spontanéité créative, difficulté à collaborer efficacement.	Indique un équilibre à trouver entre efficacité numérique et créativité/compétences traditionnelles.
<b>Déroulement et organisation pédagogique (Grasshopper)</b>	68% des étudiants prennent des notes pendant l'explication du cours, le reste reproduisent directement sur Rhino/Grasshopper.	La progression pédagogique suit une logique graduelle, mêlant théorie, pratique et exercices variés.
<b>Interventions individualisées de l'enseignante</b>	Parfois guidées (questions pour amener l'étudiant à la réponse), parfois directes (prise de souris).	Permet d'adapter l'aide au niveau de chaque étudiant et de gérer les difficultés individuelles.
<b>Outils externes suggérés par l'enseignante</b>	Plugin Sunglass, affichage des noms de composants, et tutoriels vidéo.	Ces outils complètent le cours et facilitent l'apprentissage autonome ou semi-autonome.

**Stratégies et comportement des étudiants, observés pendant les exercices :**

<b>Catégorie</b>	<b>Description</b>	<b>Exemples / Notes</b>
<b>Recours à l'enseignante</b>	Demandes fréquentes d'aide à l'enseignante, parfois répétitives.	-Un étudiant demande de l'aide plusieurs fois à la prof pour le même problème.
<b>Entraide entre camarades</b>	Les étudiants forment spontanément de petits groupes (2-3) pour s'entraider. L'aide peut être explicative ou se limiter à l'imitation, sans forcément comprendre le principe.	-J'ai observé 5 groupes formés.  - dont 1 groupe de 3 étudiants qui essayaient de comprendre le principe des composants à utiliser en regardant les cours de la prof.
<b>Stratégies individuelles</b>	<b>Autonomes</b> : avancent seuls, comprennent la logique des composants. En faisant des tests + recours aux notes.  <b>Bloqués persistants</b> : testent, effacent, stagnent, puis utilisent des tutoriels.  <b>Imitateurs</b> : reproduisent le script d'un tuto, composant par composant.	-2 étudiants en autonomie totale réussissent l'exercice final  -2 étudiantes restent bloquées longtemps sur le même état.  -7 étudiants imitent la démarche du toto et restent quand même bloquées sur certaines phases (imitation sans compréhension ?)
<b>Recours à des ressources externes</b>	Les étudiants complètent leurs stratégies en consultant des tutoriels YouTube, des documents écrits.	4 étudiants ont commencé en autonomie--restés bloqués--décident de regarder des tutos.

## Synthèse partielle groupe 1

- Rôle de l'enseignante

Médiatrice : apporte des solutions techniques aux bugs, clarifie les fonctionnalités.

Guide : encourage la verbalisation des problèmes (méthode de questionnement).

Soutien différencié : circulation entre les postes, réponses individualisées.

Limites : certains étudiants restent dépendants malgré ses interventions.

- Profils d'apprenants identifiés

Autonomes : avancent seuls, comprennent la logique, qui réussit sans tuto ni aide répétée.

Collaboratifs efficaces : travaillent en duo/trio, avancent grâce à l'entraide et aux tutos.

Bloqués persistants : malgré essais et corrections, peinent à progresser, se découragent.

Imitateurs : reproduisent à l'identique les scripts du professeur, sans assimilation conceptuelle.

**Données générale (Groupe2) :**

<b>Données</b>	<b>Commentaire</b>
<b>Expérience préalable en Rhino/Grasshopper</b>	Aucun étudiant n'avait déjà utilisé Grasshopper. Certains avaient ouvert Rhino une fois, sans approfondir.
<b>Avantages perçus d'un apprentissage avec ChatGPT</b>	Réponses rapides, possibilité de poser des questions illimitées, explications adaptées à leur niveau, sentiment de "ne jamais être seul face au logiciel".
<b>Limites perçues</b>	Réponses parfois trop théoriques, manque d'exemples visuels, erreurs dans les noms de composants, nécessité de reformuler souvent.
<b>Organisation de l'apprentissage</b>	Les étudiants apprennent en autonomie, demandent à ChatGPT des explications successives et construisent leur séance à partir d'échanges continus.

**Stratégies et comportement des étudiants, observés pendant les exercices :**

<b>Catégorie</b>	<b>Description</b>	<b>Exemples / Notes</b>
<b>Recours à ChatGPT</b>	Très fréquent. Les étudiants sollicitent l'IA dès qu'un message d'erreur apparaît ou lorsqu'ils ne comprennent pas la logique d'un composant.	Un étudiant demande : "J'ai un panneau orange 'null value', ça veut dire quoi ?" – ChatGPT explique la cause possible.
<b>Stratégies individuelles</b>	Trois profils principaux identifiés : <b>experimentateurs, dépendants du texte, copieurs de solutions IA.</b>	

<b>Recours aux ressources externes</b>	Moins fréquent que dans le groupe 1. ChatGPT suffit dans 80% des blocages ; seul 1 étudiant finit par aller voir un tutoriel YouTube.	Les vidéos sont utilisées pour vérifier visuellement ce que ChatGPT explique.
<b>Gestion des erreurs</b>	Les étudiants décrivent leur script à ChatGPT pour comprendre leurs erreurs.	“J’ai connecté <i>Divide Curve</i> à <i>Extrude</i> , mais rien ne sort.” – ChatGPT identifie le mauvais paramètre à connecter.
<b>Entraide entre camarades</b>	Beaucoup moins présente qu’en groupe 1. Les étudiants travaillent chacun dans leur coin, car chacun suit “son ChatGPT”.	Quelques discussions ponctuelles, mais pas de vrais groupes de travail.

### Synthèse partielle groupe 2 :

- Rôle de Chatgpt :

Explicateur : décrit les composants, donne la logique, reformule plusieurs fois.

Débugger textuel : donne des pistes pour comprendre les messages d’erreur.

Accompagnateur : répond aux questions successives, rythme adapté.

- Limites :

- erreurs ponctuelles dans les noms des composants
- réponses trop générales,
- incapacité à analyser un script précisément sans screenshot,

- nécessite des descriptions longues et précises pour être efficace.
- Profils d'apprenants identifiés :
  - Les autonomes
    - Ils testent avant de poser une question.
    - Ils utilisent ChatGPT pour comprendre *pourquoi* une erreur arrive.
    - Ils mémorisent vite les logiques de base.
  - Les dépendants au texte
    - Ils posent des questions en continu, parfois toutes les 3 minutes.
    - Ils attendent que ChatGPT leur explique chaque connexion.
    - Avancent seulement quand l'IA leur dit exactement quoi faire. (Script final réussi mais compréhension fragile).
  - Les copieurs de solutions IA
    - Ils demandent directement : « Donne-moi toutes les étapes pour faire le script final ».
    - Ils recopient sans comprendre.
    - Se bloquent dès que la forme du problème change un peu.  
Résultat final correct, mais démarche incohérente.

## **Chapitre IV : Analyse et interprétation des données**

J'ai commencé par un travail de séquençage de mes notes. Afin de découper temporellement les sessions de travail en parties pertinentes, identifiant les moments clé.

1. **L'Identification des Blocages** : Je cherche les moments où les étudiants rencontrent une difficulté, que ce soit une erreur de syntaxe, une incompréhension de la logique paramétrique, ou autre.
2. **L'Analyse des méthodes utilisés pour surmonter un blocage ou une erreur** : les méthodes identifiées sont citées dans la partie des stratégies
3. Le pourcentage d'étudiants ayant pu surmonter une erreur sans recours à aucun support ou aide.
4. **Perception des étudiants (auto-évaluation)** : Un questionnaire d'auto-évaluation sera proposé aux étudiants pour qu'ils puissent exprimer leur perception de leur propre apprentissage, leur niveau de confort avec le logiciel, et leur sentiment d'autonomie acquise.
5. **Temps consacré et précision dans la réalisation des exercices.**
6. **Cohérence des scripts**
7. **Capacité à arriver au résultat attendu de l'exercice** : Le résultat final de la modélisation sera bien évidemment pris en compte, même si la démarche suivie n'est pas cohérente ou trop complexe

Les travaux finaux des étudiants des deux groupes sont corrigés par une même personne maîtrisant le logiciel dans sa globalité. Les résultats obtenus des deux groupes seront ensuite comparés pour mieux comprendre l'efficacité de chaque méthode d'apprentissage.

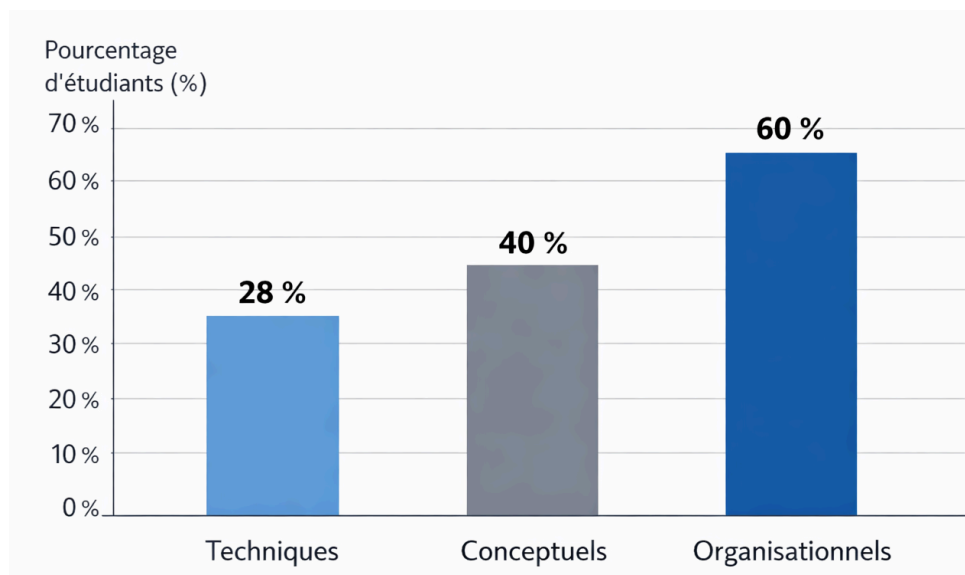
L'analyse des données vise à déterminer dans quelle mesure l'apprentissage assisté par ChatGPT permet une maîtrise de Grasshopper par rapport à l'apprentissage traditionnel.

En comparant ces différentes analyses, je pourrai caractériser et comparer l'impact de l'assistance (professeur/ IA) sur la maîtrise du processus chez les étudiants, répondant ainsi à ma problématique initiale.

## IV-1- Analyse des résultats

- Groupe 1 : 25 étudiants.

Types de blocages (au moins une fois) :



**Fig.14 :** Pourcentage d'étudiants selon le type de blocage rencontré.

**Source :** Auteur.

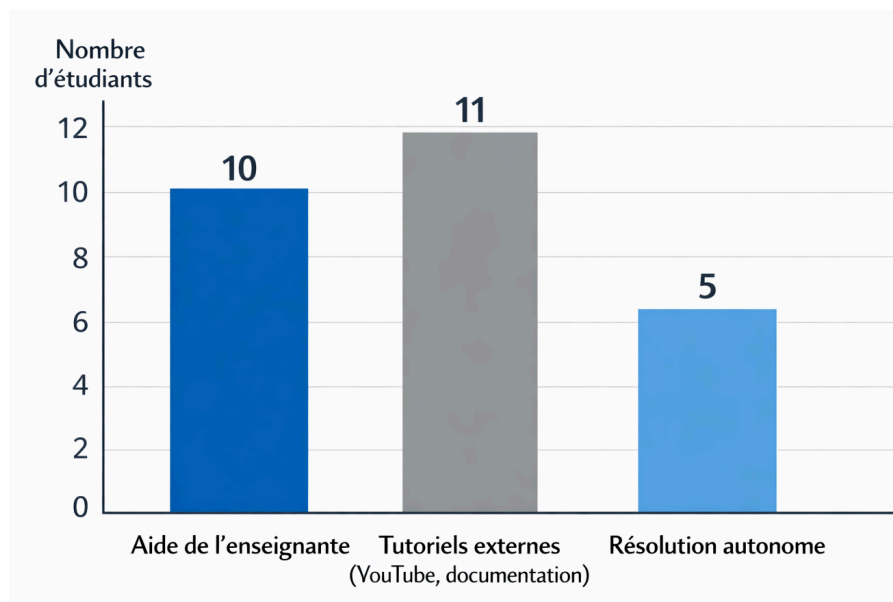
### Commentaires :

Les résultats montrent que la majorité des étudiants du groupe 1 ont surtout rencontré des blocages d'organisation du script, notamment sur l'ordre des opérations et la structure générale. Donc, même avec l'accompagnement de l'enseignante, il n'est pas facile pour des débutants d'avoir une vision globale du raisonnement paramétrique.

Les blocages conceptuels sont également assez présents. Plusieurs étudiants ont eu du mal à comprendre la logique des composants et les liens entre les éléments, ce qui confirme que Grasshopper demande une manière de penser différente des outils de modélisation classiques.

En ce qui concerne les blocages techniques, ils sont moins fréquents. Cela peut s'expliquer par la présence de l'enseignante et par les supports mis à disposition, qui permettent de débloquer rapidement ce type de problème. Ces résultats montrent que l'enseignement encadré aide surtout sur le plan technique, mais que les difficultés liées au raisonnement et à l'organisation restent importantes.

### **Stratégies pour surmonter les blocages : pendant l'apprentissage.**



**Fig.15 :** Pourcentage d'étudiants selon les stratégies utilisées.

**Source :** Auteur.

### **Commentaires :**

Cela montre que les étudiants ont majoritairement surmonté leurs blocages grâce à des ressources externes ou à l'aide de l'enseignante. Le recours aux tutoriels (YouTube, documentation) est légèrement plus fréquent, ce qui montre que les étudiants ont tendance à chercher rapidement des solutions par eux-mêmes lorsqu'ils rencontrent une difficulté.

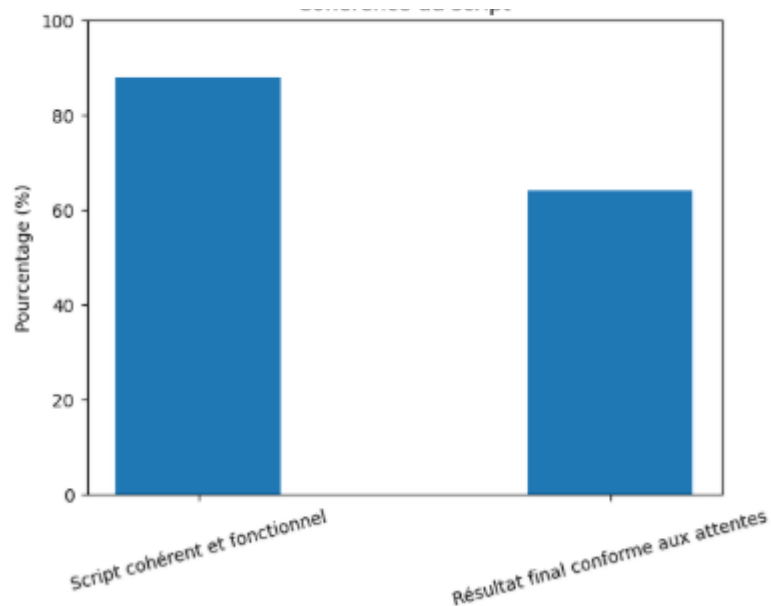
L'aide de l'enseignante reste néanmoins très importante et constitue un soutien central dans le processus d'apprentissage, notamment pour débloquer des situations complexes ou mal comprises.

Cependant, le nombre très faible d'étudiants ayant pu surmonter les erreurs en autonomie totale, montre que la majorité des étudiants ont encore le besoin d'un accompagnement ou de supports externes pour surmonter ces erreurs, malgré les efforts fournis par l'enseignante lors de la phase de cours.

**Temps consacré :**

Temps	Moyenne
Temps total moyen pour l'exercice finale	6h11 min
Temps moyen pour résoudre un blocage	4 min30

**Cohérence du script :**



**Fig.16 :** Pourcentage d'étudiants selon la cohérence du script

**Source :** Auteur.

### **Commentaires :**

Les résultats montrent que, malgré les difficultés rencontrées durant la phase d'apprentissage, les étudiants ont globalement réussi à les surmonter, chacun à sa manière, pour parvenir à un résultat final fonctionnel dans la majorité des cas. Toutefois, certains travaux restent moins conformes aux attentes, même si les scripts produits sont globalement cohérents.

### **Note moyenne de tout le groupe : 15.43/20**

La note correspond à la moyenne des notes des étudiants de l'exercice final. Cette moyenne permet d'avoir une idée générale du niveau atteint par le groupe à la fin de l'apprentissage.

Ce résultat montre que, dans l'ensemble, les étudiants ont réussi à comprendre les bases de Grasshopper et à produire un travail correct par rapport aux attentes de l'exercice. L'accompagnement de l'enseignante durant l'apprentissage, ainsi que la possibilité d'utiliser des supports externes, ont clairement aidé les étudiants à avancer et à dépasser certaines difficultés, notamment sur le plan technique.

Cependant, cette note moyenne ne reflète pas toutes les différences entre les étudiants ni les difficultés rencontrées pendant le processus d'apprentissage. Elle doit donc être mise en relation avec les observations faites durant l'expérience, notamment les types de blocages rencontrés et la manière dont les étudiants les ont surmontés.

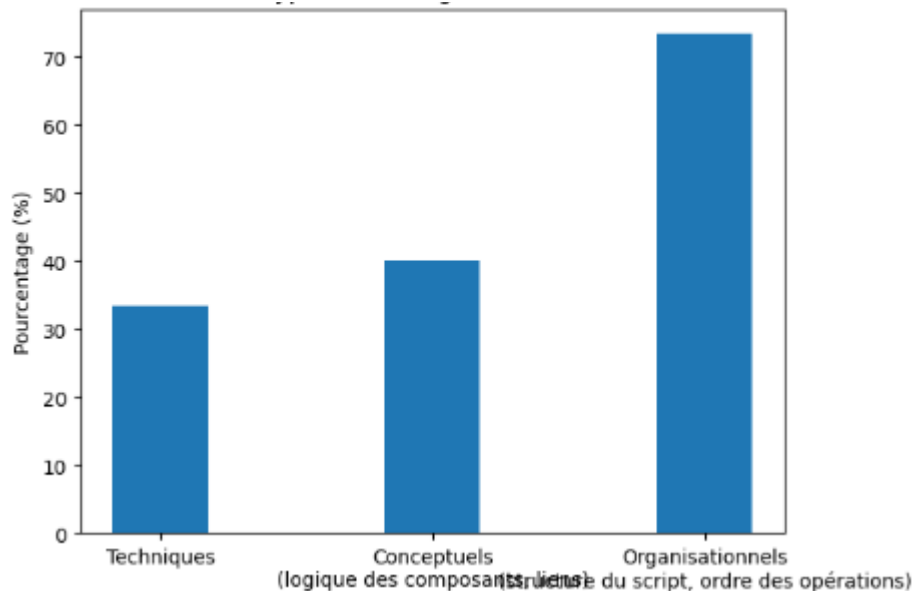
### **Synthèse partielle :**

De manière générale, les résultats de ce groupe montrent un apprentissage progressif et relativement stable.. Les étudiants ont globalement réussi à apprendre les bases de Grasshopper, même si cela reste partiel et inégal selon les profils.

L'expérience montre que l'accompagnement pédagogique joue un rôle important tout au long de l'apprentissage, en aidant les étudiants à avancer et à dépasser leurs difficultés. Mais, malgré cet encadrement, la compréhension globale du raisonnement paramétrique et l'organisation du travail restent des points sensibles pour des étudiants débutants.

- **Groupe 2 : 15 étudiants.**

**Type de blocage (au moins une fois) :**



**Fig.17 :** Pourcentage d'étudiants selon le type de blocage.

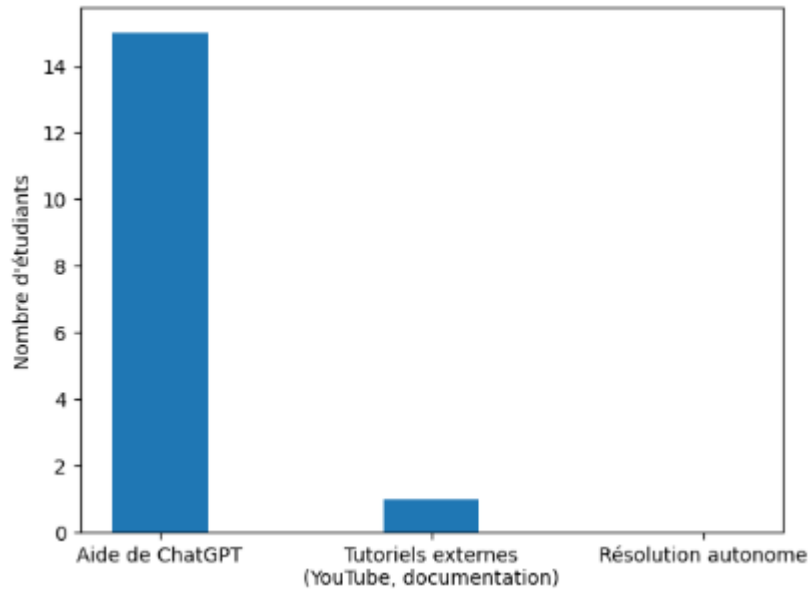
**Source :** Auteur.

### **Commentaires :**

Les types de blocages rencontrés dans ce groupe suivent le même ordre que ceux du premier groupe, en effet, les blocages sont d'abord organisationnels, puis conceptuels, et enfin techniques. Cela montre que, quel que soit le mode d'apprentissage, la difficulté principale de Grasshopper est la structuration du raisonnement paramétrique, comme cela a déjà été expliqué dans l'analyse du premier groupe.

Cependant, on remarque que les pourcentages sont plus élevés pour ce groupe pour le blocage technique, et encore plus pour les blocages organisationnels qui s'élèvent à 73.33%. Ce qui signifie que le nombre d'étudiants ayant rencontré des difficultés au cours de l'apprentissage est plus important pour le second groupe. Et ce, à cause de la méthode d'apprentissage avec ChatGPT, qui facilite l'accès aux solutions conceptuelles mais peut rendre plus difficile la construction d'une vision globale et organisée du script.

## Stratégies pour surmonter les blocages :



*Fig.18 : Pourcentage d'étudiants selon les stratégies utilisées.*

**Source :** Auteur.

### Commentaires :

Ces résultats montrent que tous les étudiants de ce groupe ont utilisé Chatgpt pour surmonter leurs blocages. Cela peut être à cause de la disponibilité immédiate de ChatGPT, car chaque étudiant a son propre "ChatGPT", sans contrainte de temps ou d'attente.

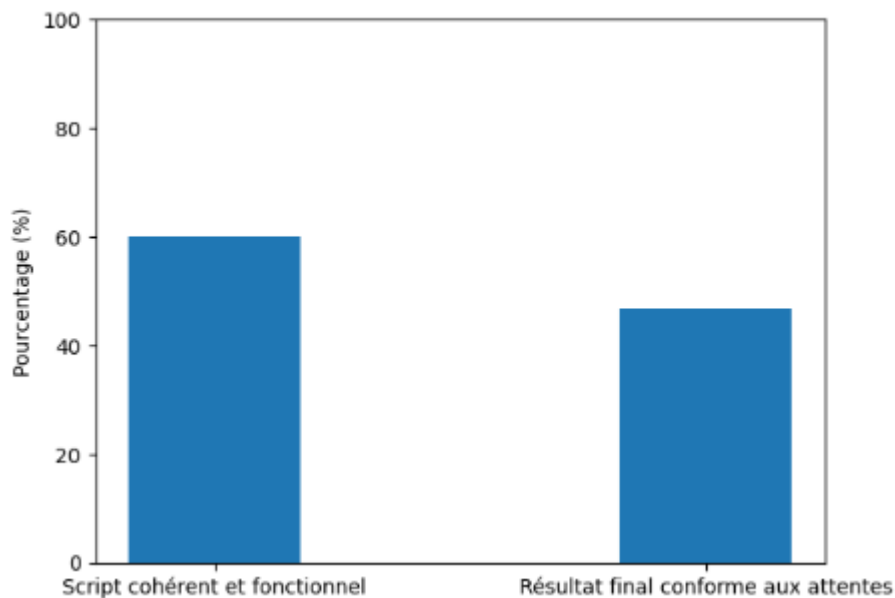
Contrairement à un apprentissage encadré par un enseignant, où les étudiants doivent parfois attendre que celui-ci soit disponible ou hésitent à poser des questions par manque d'assurance, ChatGPT offre une assistance plus accessible et moins intimidante. Cela encourage les étudiants à demander de l'aide plus facilement et plus fréquemment.

Je pense que cette utilisation intensive de ChatGPT peut limiter la réflexion personnelle des étudiants et réduire leur recours à d'autres ressources. Si l'outil facilite l'apprentissage, il ne remplace pas un travail autonome.

### Temps consacré :

Temps	Moyenne
Temps total moyen pour l'exercice finale	5h56 min
Temps moyen pour résoudre un blocage	3min30

### Cohérence du script :



*Fig.19 : Pourcentage d'étudiants selon la cohérence du script.*

*Source : Auteur.*

### Note moyenne de tout le groupe : **13.92/20**

Ce résultat montre que les étudiants ont acquis un niveau satisfaisant, leur permettant d'arriver au résultat attendu, en produisant des scripts assez fonctionnels, tout en mobilisant les outils de base. Cette note plus faible que celle obtenue par le premier groupe, s'explique par le fait que ChatGPT constitue un outil efficace pour accompagner l'apprentissage et résoudre certains blocages, mais son usage ne garantit pas une maîtrise approfondie et structurée des notions abordées.

**De plus, ce résultat a été obtenu suite à une assistance continue de ChatGPT pendant la réalisation de l'exercice, donc, je pense que si les**

**étudiants avaient utilisé ChatGPT uniquement pour apprendre et avaient réalisé l'exercice en autonomie totale, ils auraient probablement obtenu une note encore plus faible.**

### **Synthèse partielle :**

De manière générale, les résultats de ce groupe montrent un apprentissage correct mais plus irrégulier. Les étudiants ont réussi à comprendre et à utiliser les bases de Grasshopper, même si le niveau reste différent d'un étudiant à l'autre.

L'utilisation de ChatGPT a aidé les étudiants à avancer plus rapidement et à débloquer certaines difficultés plus ou moins rapidement, notamment sur les aspects techniques. Cependant, cette aide constante a parfois limité la réflexion personnelle et l'organisation globale du script. Comme pour le premier groupe, la logique paramétrique et la structuration du travail sont des points sensibles pour des étudiants débutants.

## **IV-2- Synthèse globale**

Les résultats obtenus par les deux groupes montrent que l'apprentissage de Grasshopper est complexe pour des étudiants débutants. Dans les deux méthodes, les étudiants ont réussi à acquérir les bases et à produire des scripts fonctionnels, mais avec des niveaux de compréhension différents selon les profils.

Le premier groupe a des résultats plus stables. L'accompagnement pédagogique aide les étudiants à mieux organiser leur travail et à comprendre progressivement la logique paramétrique. Et pourtant, certains blocages persistent, notamment sur l'organisation globale du script.

Le second groupe montre que l'accès direct et rapide à l'aide permet de résoudre plus facilement les problèmes techniques et d'avancer plus vite. Mais, ils ont plus de difficultés liées à l'organisation du travail et à la compréhension globale du raisonnement.

Dans l'ensemble, les deux méthodes permettent d'apprendre les bases, mais avec des résultats différents. L'enseignement encadré offre une meilleure structuration, tandis que ChatGPT aide à avancer rapidement sans toujours garantir une compréhension approfondie et un résultat fonctionnel.

## Confrontation de l'hypothèse avec les résultats

### Rappel de l'hypothèse de départ :

*L'apprentissage de Grasshopper avec ChatGPT permet d'acquérir une maîtrise des fonctions de base du logiciel, mais l'enseignement classique reste plus efficace pour comprendre et résoudre les erreurs spécifiques.*

### Validation de l'hypothèse :

Les résultats obtenus permettent de confirmer l'hypothèse, mais seulement en partie.

Les étudiants du groupe utilisant ChatGPT ont globalement réussi à avancer dans leur travail. L'outil leur a permis de résoudre plus rapidement certains problèmes, surtout techniques. L'accès immédiat à ChatGPT a facilité la progression individuelle.

Cependant, les résultats montrent aussi que malgré l'utilisation de ChatGPT, de nombreux étudiants ont rencontré des difficultés dans l'organisation du script et dans la compréhension globale du raisonnement paramétrique. Ces difficultés sont importantes et apparaissent plus que dans le groupe encadré par un enseignant.

Ainsi, ChatGPT constitue une aide utile pour accompagner l'apprentissage, mais il ne suffit pas à garantir un apprentissage structuré et approfondi. L'hypothèse de départ est donc partiellement validée et montre que l'outil doit être utilisé en complément d'un encadrement pédagogique.

## Limites et perspectives

- Taille réduite du second groupe.
- Temps d'apprentissage limité (2,5 jours).
- Variabilité dans la manière dont les étudiants utilisent ChatGPT (qualité des questions).
- Absence de capture d'écran dans certaines interactions.
- L'enseignante a une expérience spécifique qui influence fortement les résultats.
- L'accès continu à Chatgpt durant l'exercice final pour le groupe 2.
- **Limites liées à l'IA :**
- ChatGPT ne peut pas lire un fichier Grasshopper directement.
- hallucinations dans les noms de composants,
- logique parfois erronée,
- difficulté à comprendre le contexte d'un script complexe.

### **Perspectives :**

- Il serait pertinent de comparer les deux modalités d'apprentissage dans des conditions identiques (sans ChatGPT lors de l'exercice final) pour évaluer l'autonomie des étudiants dans la manipulation du logiciel.
- Intégrer ChatGPT directement dans Grasshopper via un plugin relié aux composants du fichier.
- Former les étudiants à poser de "bonnes questions"
- Créer des exercices hybrides (demi-cours avec prof, demi-apprentissage avec ChatGPT)
- Comparer avec d'autres IA, Gemini par exemple
- Étudier l'apprentissage à long terme sur plusieurs semaines au lieu de 2 jours.

## Conclusion

Cette recherche montre que l'intelligence artificielle générative, en particulier ChatGPT, représente une véritable opportunité pour faciliter l'apprentissage de la modélisation paramétrique. Les résultats démontrent que les étudiants peuvent, en très peu de temps, comprendre les bases du logiciel, explorer des composants et réaliser des scripts cohérents grâce à l'IA.

Cependant, l'analyse comparative révèle clairement que l'enseignement classique reste plus efficace pour résoudre les erreurs complexes, comprendre la logique fine des scripts et garantir un travail stable et rigoureux. L'enseignante apporte une expertise contextualisée qui s'adapte immédiatement au problème de l'étudiant, ce que l'IA ne peut reproduire entièrement.

ChatGPT apparaît comme un outil complémentaire, non pas remplaçant. Il renforce l'autonomie, accélère les tâches simples, et permet d'obtenir des explications rapides et personnalisées. Mais il nécessite une utilisation critique et ne peut pas se substituer totalement à la transmission pédagogique humaine, surtout dans un domaine exigeant une précision géométrique.

Ainsi, les deux approches ne sont pas opposées mais complémentaires. L'enseignement classique structure les bases et corrige finement, tandis que l'IA soutient l'apprentissage autonome et encourage l'exploration. Cette complémentarité ouvre des perspectives intéressantes pour renouveler les pratiques pédagogiques dans l'apprentissage de la modélisation paramétrique.

## Références Bibliographiques

1. Boissieu, Aurélie de. « Modélisation paramétrique en conception architecturale : Caractérisation des opérations cognitives de conception pour une pédagogie », septembre 2013.
2. Chew, Zhi Xian, Jing Ying Wong, Yu Hoe Tang, Chun Chieh Yip, et Tomas Maul. « Generative Design in the Built Environment ». *Automation in Construction* 166 (1 octobre 2024): 105638.
3. « Chat GPT pour Grasshopper – Le design différent ». Consulté le 24 décembre 2024.
4. Coenders, Jeroen L. « Next Generation Parametric Design ». *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures* 62, no 2 (1 juin 2021): 153-66.
5. Couwenbergh, Jean-Pierre, et Mohamed-Anis Gallas. “Conception paramétrique avec Rhino et Grasshopper”, Edition Eyrolles.
6. Darwn Nezamaldin, “Parametric design with Visual Programming in Dynamo with Revit” 2019.
7. Feng, Guangxi, et Wei Yan. « Text2VP: Generative AI for Visual Programming and Parametric Modeling ». *arXiv*, 9 juin 2024.
8. Khaleel, Mohamed, Abdullatif Jebrel, et Dunia M. Shwehdy. « Artificial Intelligence in Computer Science ». *Int. J. Electr. Eng. and Sustain.*, 28 mars 2024, 01-21.
9. Lecourtois, Caroline. « Complexité architecturale et assistance informatique ». *DRS Biennial Conference Series*, 7 juillet 2010.
10. Pasupuleti, Vikram, Chandra Shikhi Kodete, Bharadwaj Thuraka, et Varun Varma Sangaraju. « Impact of AI on Architecture: An Exploratory Thematic Analysis ». *African Journal of Advances in Science and Technology Research* 16, no 1 (28 octobre 2024): 117-30.
11. Rane, Nitin, Saurabh Choudhary, et Jayesh Rane. « Integrating ChatGPT, Bard, and Leading-edge Generative Artificial Intelligence in Architectural Design and Engineering: Applications, Framework, and Challenges ». *SSRN Scholarly Paper*. Rochester, NY: Social Science Research Network, 27 novembre 2023.
12. Stals, Adeline. « Pratiques numériques émergentes en conception architecturale dans les bureaux de petite taille - Perceptions et usages de la modélisation paramétrique », 13 septembre 2019.
13. Vidal Planas, Marti. « ChatGPT i Grasshopper: una anàlisi de les aplicacions de la intel·ligència artificial en les eines de disseny digital ». *Bachelor thesis, Universitat Politècnica de Catalunya*, 2024.