

Outils numériques génératifs appliqués à l'architecture :

mise à l'épreuve des flux de travail face à l'émergence de l'intelligence artificielle

Generative digital tools applied to architecture:

workflows put to the test by the emergence of Artificial Intelligence

Mots clés : intelligence artificielle ; architecture ; processus de conception ; flux de projet ; automatisation bornée ; contrôle auctorial.

Résumé :

La conception architecturale se développe par traductions successives entre croquis, dessins, maquettes, images, simulations, jeux de données, savoirs spécialisés et discussions. À mesure que ces éléments se multiplient, le processus de conception devient de plus en plus fragmenté. L'intelligence artificielle peut aider à gérer cette fragmentation, mais lorsqu'elle est utilisée sans limites claires, elle peut aussi générer des résultats supplémentaires difficiles à relier à l'intention initiale de l'architecte. Cette thèse pose donc la question suivante : comment des modules d'IA peuvent-ils aider les architectes à cartographier et à naviguer dans la fragmentation du processus de conception tout en conservant le contrôle de la direction du projet ? La recherche propose une méthodologie fondée sur des modules d'IA spécifiques au projet. Ces modules n'agissent pas comme des concepteurs autonomes. Chacun accomplit plutôt une tâche clairement bornée : identifier des informations pertinentes du projet, les reformuler ou les traiter, produire un résultat, puis retourner ce résultat pour validation et réintégration architecturales. L'architecte demeure responsable de la définition de l'intention, de la sélection des sources, du contrôle de la transformation et de la décision concernant la pertinence du résultat pour le projet.

Les expérimentations montrent progressivement comment l'IA peut aider les architectes à cartographier et à naviguer dans la fragmentation tout en préservant la fluidité et la validité du contrôle auctorial. L'expérience 1 cartographie la morphologie de l'interaction humain-IA et fournit la base empirique permettant de comprendre comment l'IA peut être intégrée aux flux de travail créatifs. Elle rend mesurable le déplacement sémantique à travers 7 715 images au moyen de scores sémantiques moyens de classe et d'image de 0,335 et 0,351. L'expérience 2 construit un cadre computationnel pour observer comment les architectes testent et élargissent les limites d'un concept : une divergence humaine de 0,501 contre une divergence IA de 0,471 distingue l'exploration conceptuelle menée par l'architecte de sa reproduction visuelle, en reliant ce mouvement aux objets-frontières et à la recherche de l'horizon d'un concept. L'expérience 3 déplace ensuite l'attention de ce qui entre dans le processus vers la manière dont l'architecte le traverse, en montrant que la stabilité du flux de travail dépend davantage de transitions contrôlées que de la quantité d'entrées : la longueur de saut est corrélée à la contradiction ($r = 0,72$) et négativement à la précision ($r = -0,72$), tandis que la densité des couches a peu d'effet ($r = -0,09$). Enfin, l'expérience 4 applique la méthode à 539 observations Sentinel-2, démontrant sa transférabilité à l'analyse territoriale et son rôle dans la communication interdisciplinaire, en permettant aux architectes de travailler professionnellement dans d'autres domaines tout en conservant une validation spécialisée.

Une preuve de concept professionnelle avec SNKH Studio teste en outre la méthodologie dans des flux de travail actifs de visualisation architecturale. Le cas démontre que des modules d'IA spécifiques au projet peuvent être intégrés à la pratique professionnelle tout en préservant un contrôle dirigé par l'architecte sur l'intention du projet, les informations sources, les transformations autorisées, la séquence du flux de travail et l'évaluation finale.

La contribution principale de la thèse est une méthodologie réutilisable pour intégrer l'IA aux flux de travail architecturaux par des opérations bornées, modulaires et dirigées par l'architecte. Sa nouveauté consiste à positionner l'IA non comme concepteur autonome ou co-auteur égal, mais comme mécanisme de cartographie, traducteur et outil transitionnel qui aide les architectes à traverser des informations fragmentées tout en maintenant l'auctorialité, la responsabilité et le contrôle sur la direction du projet.

La recherche établit également une base pour une future IA architecturale attentive à la physique, capable de relier les représentations visuelles à la géométrie, aux matériaux, à la structure, à la performance environnementale, à la fabrication et au comportement physique. À mesure que les systèmes computationnels deviennent plus puissants, des limites explicites des transformations traçables, une validation spécialisée et une réintégration dirigée par l'architecte deviennent de plus en plus nécessaires.

Keywords: artificial intelligence; architecture; design process; project flow; bounded automation; authorial control.

Abstract:

Architectural design develops through successive translations between sketches, drawings, models, images, simulations, datasets, specialist knowledge, and discussions. As these elements multiply, the design process becomes increasingly fragmented. Artificial Intelligence can help manage this fragmentation, but when used without clear limits it may also generate additional outputs that are difficult to relate to the architect's original intention. This thesis therefore asks: How can AI modules help architects map and navigate fragmentation in the design process while keeping control of the project's direction?

The research proposes a methodology based on project-specific AI modules. These modules do not act as autonomous designers. Instead, each performs a clearly bounded task: identifying relevant project information, reformulating or processing it, producing an output, and returning that output for architectural validation and reintegration. The architect remains responsible for defining the intention, selecting the sources, controlling the transformation, and deciding whether the result is relevant to the project.

The experiments progressively show how AI can help architects map and navigate fragmentation while preserving the fluidity and validity of authorial control. Experiment 1 maps the morphology of human-AI interaction, providing the empirical basis for understanding how AI can be integrated into creative workflows. It makes semantic movement measurable across 7,715 images through mean Class and Image Semantic Scores of 0.335 and 0.351. Experiment 2 builds a computational framework for observing how architects test and expand the boundaries of a concept: Human Divergence of 0.501 versus AI Divergence of 0.471 distinguishes architect-led conceptual exploration from its visual reproduction, linking this movement to boundary objects and the search for a concept's horizon. Experiment 3 then shifts from what enters the process to how the architect moves through it, showing that workflow stability depends more on controlled transitions than on input quantity: Jump Length correlates with contradiction ($r = 0,72$) and negatively with accuracy ($r = -0,72$), while layer density has little effect ($r = -0,09$). Finally, Experiment 4 applies the method to 539 Sentinel-2 observations, demonstrating its transferability to territorial analysis and its role in cross-disciplinary communication, enabling architects to work professionally across other fields while retaining specialist validation.

A professional proof of concept with SNKH Studio further tests the methodology in active architectural visualisation workflows. The case demonstrates that project-specific AI modules can be integrated into professional practice while preserving architect-led control over project intention, source information, permitted transformations, workflow sequence, and final evaluation.

The principal contribution of the thesis is a reusable methodology for integrating AI into architectural workflows through bounded, modular, and architect-directed operations. Its novelty lies in positioning AI not as an autonomous designer or equal co-author, but as a mapping mechanism, translator, and transitional tool that helps architects move through fragmented information while maintaining authorship, responsibility, and control over the project's direction.

The research also establishes a foundation for future physics-aware architectural AI, capable of connecting visual representations with geometry, materials, structure, environmental performance, fabrication, and physical behaviour. As computational systems become more powerful, explicit boundaries, traceable transformations, specialist validation, and architect-directed reintegration become increasingly necessary.