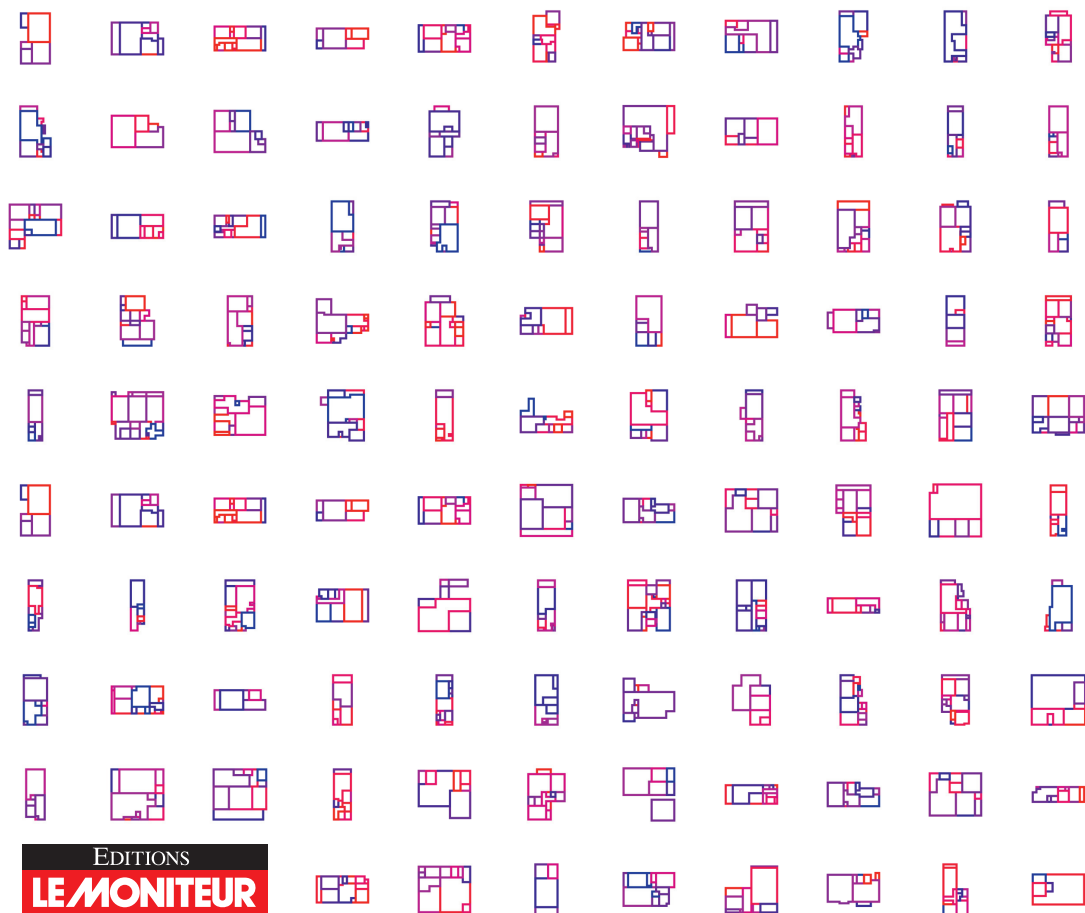


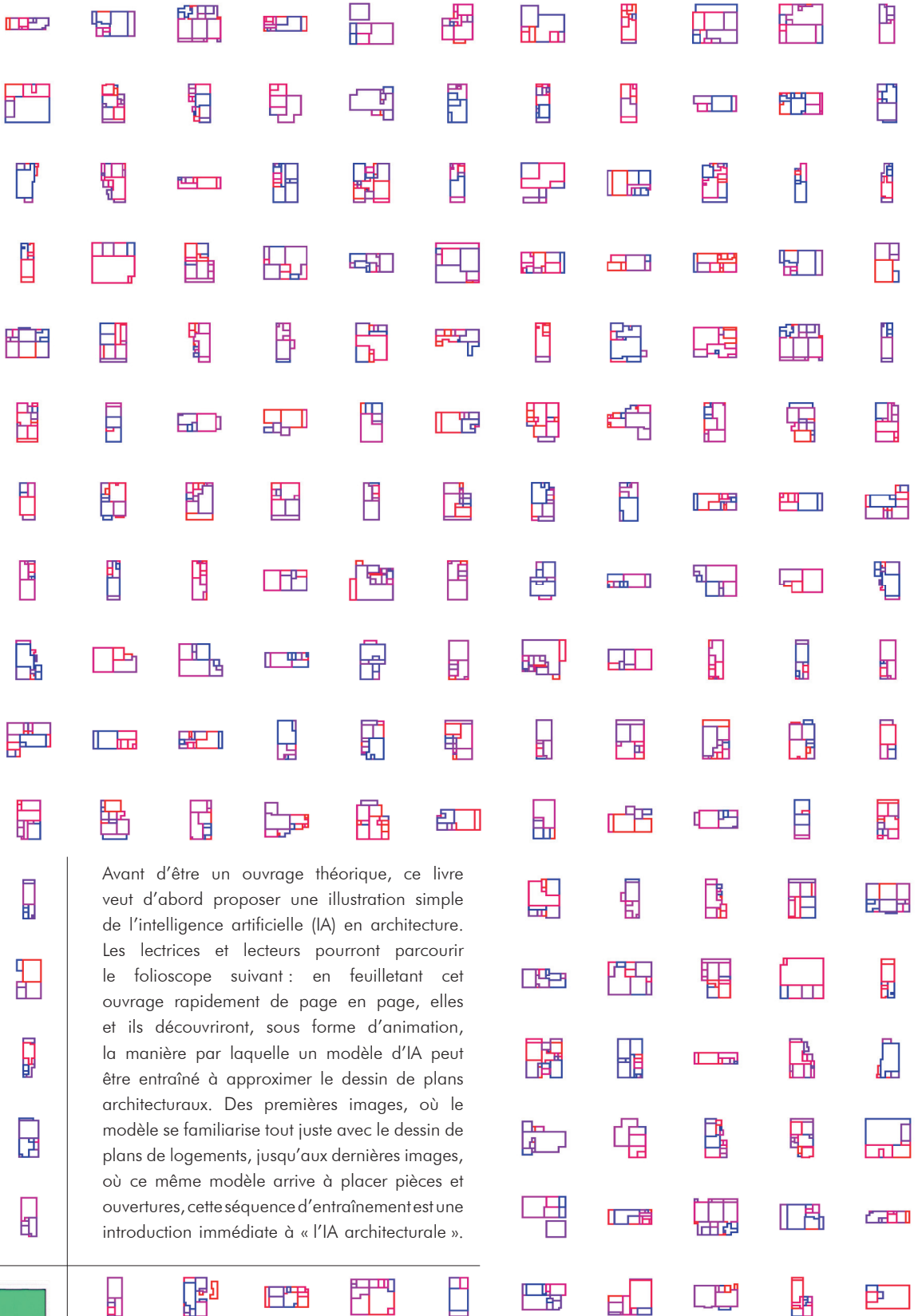
l'intelligence artificielle au service de l'architecture

Stanislas Chaillou



SOMMAIRE

PRÉFACE.....	7
INTRODUCTION.....	13
1 HISTOIRE D'UNE ALLIANCE.....	17
1.1. La modularité.....	20
1.2. La conception assistée par ordinateur.....	26
1.3. Le paramétrisme.....	32
1.4. L'intelligence artificielle.....	40
2 L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE EN ARCHITECTURE.....	49
2.1. L'intelligence artificielle et ses modèles.....	50
2.2. Les plans.....	58
2.3. Les façades.....	62
2.4. Les perspectives.....	66
2.5. Les structures.....	70
3 ARTICLES ET OPINIONS.....	75
3.1. Vers une intégration humaine de l'intelligence artificielle.....	76
3.2. Agencements et espaces.....	84
3.3. L'échelle urbaine.....	92
3.4. L'apprenti sorcier.....	102
3.5. L'IA en architecture : une perspective expérimentale.....	116
3.6. Modèles de substitution et conception.....	142
3.7. Les « boîtes grises ».....	152
4 PROGRÈS ET AVENIR.....	173
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	185
BIOGRAPHIES DES CONTRIBUTEURS.....	187
INDEX.....	190



Avant d'être un ouvrage théorique, ce livre veut d'abord proposer une illustration simple de l'intelligence artificielle (IA) en architecture. Les lectrices et lecteurs pourront parcourir le folioscope suivant : en feuilletant cet ouvrage rapidement de page en page, elles et ils découvriront, sous forme d'animation, la manière par laquelle un modèle d'IA peut être entraîné à approximer le dessin de plans architecturaux. Des premières images, où le modèle se familiarise tout juste avec le dessin de plans de logements, jusqu'aux dernières images, où ce même modèle arrive à placer pièces et ouvertures, cette séquence d'entraînement est une introduction immédiate à « l'IA architecturale ».



INTRODUCTION





L'intelligence artificielle (IA) est une discipline qui a déjà pénétré nombre d'industries, en leur apportant les moyens de relever des défis inédits. Son adoption en architecture en est encore à ses débuts, mais les résultats obtenus et escomptés sont prometteurs. Cette technologie est bien plus qu'une simple opportunité, elle est un pas en avant sans doute décisif, à même de faire évoluer radicalement la pratique de l'architecture.

En nous appuyant sur un éclairage historique, nous replacerons, dans un premier temps, l'IA dans l'histoire des sciences et de l'architecture. L'évolution technologique qui y conduit est en fait l'inverse d'une « disruption » ; elle est le résultat d'une lente maturation, justifiant le tour d'horizon chronologique qui introduit cet ouvrage. Dans un second temps, nous exposerons les résultats récents des différents champs de la recherche. L'IA contribue en effet déjà à la conception des principales échelles du bâti. Plans architecturaux, élévations, perspectives, structures : autant d'applications effectives que ce livre développe. Enfin, nous donnerons la parole aux chercheuses

et chercheurs qui, aujourd’hui, travaillent aux avant-postes de cette évolution. Cet ouvrage réunit pour cela une sélection d’articles, qui dessinent les grands enjeux de l’IA et de ses applications en architecture. Du Bauhaus à Harvard en passant par le MIT, c’est une fresque internationale des expérimentations actuelles que ce livre donne à voir aux lectrices et lecteurs.

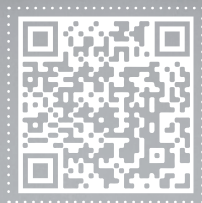
En somme, entre théories et exemples, nous entendons éclairer les débuts d’une nouvelle ère technologique, celle de l’IA, qui, tout en démultipliant la pratique architecturale, lui rend ses lettres de noblesse. À travers un parcours en trois étapes, nous nous proposons de dévoiler aux lectrices et lecteurs la promesse que représente l’IA, lorsqu’elle est mise au service de l’architecture.

Le contenu de ce livre est en partie dérivé de l’exposition « Intelligence Artificielle & Architecture », ouverte au public début 2020. Cette exposition, commissionnée par Stanislas Chaillou, et produite par le Pavillon de l’Arsenal à Paris présentait l’état des lieux de l’adoption de l’IA en architecture. Elle est aujourd’hui accessible en ligne, sous le format d’une visite virtuelle. Les lectrices et lecteurs pourront s’y promener à loisir et retrouver une partie du contenu de cet ouvrage. Cette visite en ligne fait donc écho à ce livre, alors que l’ouvrage reprend, augmente et complète le contenu de l’exposition.

En outre, ce livre est complété par un contenu numérique, accessible grâce à un système de codes QR cliquables et pouvant être scannés à la fin de chaque chapitre. Ces références diverses, sous formes de livres () , articles () , films d’archive () , sites internet () et autres, proposent aux lectrices et lecteurs de poursuivre leur découverte de l’IA en architecture, au-delà du contenu de cet ouvrage.

Note de l’auteur : à titre de références, ce livre mentionne certains logiciels et fabricants. Cet ouvrage pour autant ne promeut ni ne soutient les solutions mentionnées.

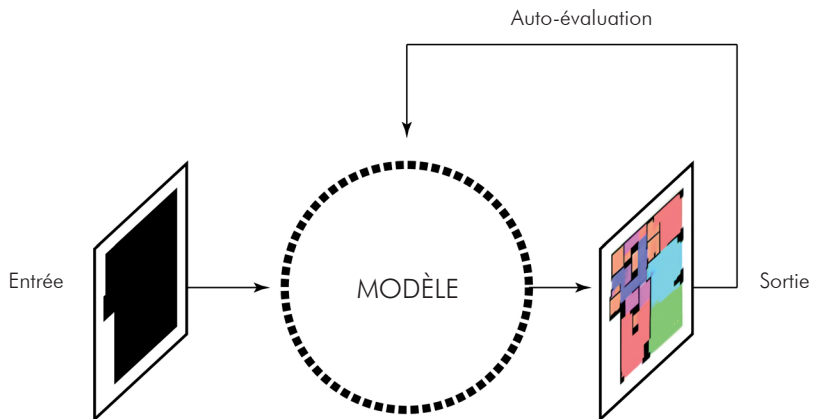




Exposition virtuelle
en ligne

causes de leur marge d'erreur, ils affinent progressivement leur capacité à émuler le phénomène que les données décrivent. La figure 2.1 détaille le fonctionnement général de ces modèles. Dans les pages qui suivent, nous présenterons aussi deux cas particuliers de cette forme d'IA générative ayant fait leurs preuves ces dernières années : les GANs et les VAEs.

Fig. 2.1.
Architecture
d'un modèle
de substitution



Grâce à ces modèles, l'IA s'est rapprochée de l'architecture ces dernières années. Pour illustrer cette réalité, les trois figures suivantes présentent son application à la génération de plans d'appartements. Dans cet exemple, développé plus en détail dans la suite de l'ouvrage, un modèle est entraîné à apprendre à agencer des pièces dans une emprise au sol préalablement définie, tout en respectant la position de la porte d'entrée et des fenêtres de façade. En utilisant une base de données de paires d'images (fig. 2.2), le modèle apprend progressivement à aménager l'intérieur de plans d'appartement. La figure 2.3 montre les résultats obtenus durant la phase d'entraînement d'un modèle GAN ayant duré près de 16 heures. Des premiers essais, en haut à gauche de la figure, aux derniers, en bas à droite, le modèle a appris à agencer un plan de logement.





Fig. 2.2. Paire d'images « input » (gauche) et « output » (droite), associant une empreinte au sol à un agencement de pièces, S. Chaillou, Harvard, 2019

Début de l'entraînement

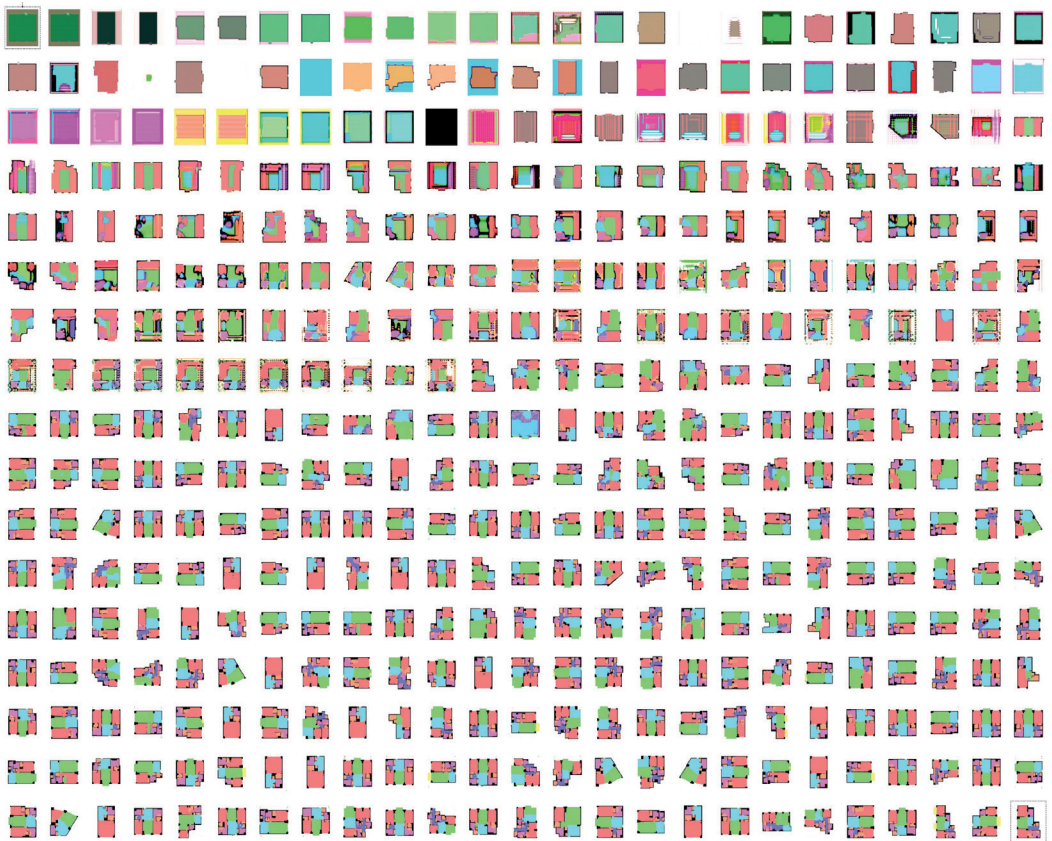
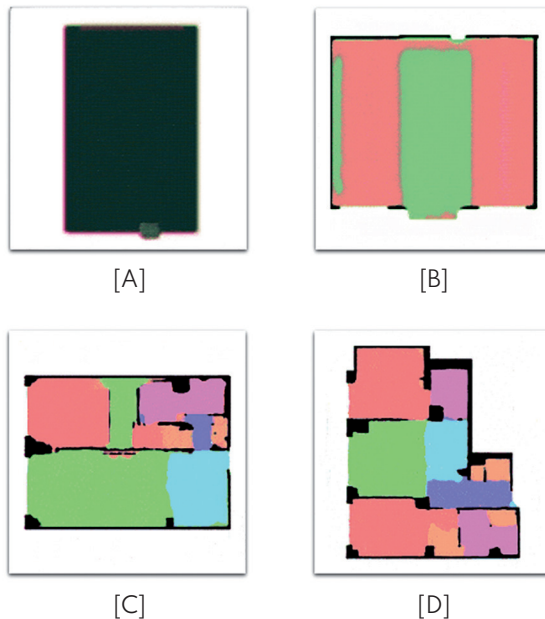


Fig. 2.3. Images générées durant l'entraînement d'un modèle GAN, S. Chaillou, Harvard, 2019

Fin de l'entraînement

Les images [A] à [D] de la figure 2.4, qui correspondent à quatre moments distincts de l'apprentissage, révèlent l'assimilation par le modèle d'IA des principes d'agencement spatial. Le premier essai n'émule que l'emprise au sol d'un appartement [A]. Puis, les notions de façade et de programme émergent, sans pour autant donner place à une cohérence spatiale, ou même à un cloisonnement des pièces [B]. Plus tard, le modèle acquiert le principe de la fermeture des espaces, alors que des cloisons entre pièces prennent place systématiquement, et que les adjacences entre celles-ci se précisent [C]. Finalement, une fois l'entraînement terminé [D], le modèle propose un plan respectant la plupart des principes nécessaires à la bonne organisation de l'espace : ouvertures en façade, adjacences valides entre différents éléments du programme, cloisonnement des pièces, etc.

Fig. 2.4.
Moments de
l'entraînement
d'un modèle
GAN, Chaillou,
Harvard, 2019



Bien qu'il surpasse les méthodes génératives qui l'ont précédé, ce processus n'est pas exempt de limitations. En premier lieu, les plans



2.2. LES PLANS

L'agencement des pièces au sein d'une emprise au sol représente un enjeu de taille en architecture, auquel l'IA peut apporter des solutions. Pouvoir diviser un plan d'étage tout en respectant les contiguïtés et adjacences nécessaires, des dimensions de pièce raisonnables et une répartition des ouvertures correcte, est une tâche pour laquelle l'IA peut proposer des solutions initiales surprenantes.

ArchiGAN, dérivé du modèle GAN Pix2pix, s'attache à estimer l'aménagement intérieur de plans d'appartement. Il propose ainsi d'assister l'architecte à penser la question du programme. L'utilisateur est invité à spécifier des conditions initiales, à savoir la forme de l'emprise au sol d'un appartement, la position des fenêtres en façade, et celle de la porte d'entrée. En fonction de ce jeu de contraintes, le modèle propose une répartition des pièces, des cloisons et des éléments structurels, comme les colonnes ou les murs porteurs. Dans la figure 2.7, nous présentons les résultats de ce modèle : pour chaque paire d'images, celle de gauche représente les contraintes initiales spécifiées par l'architecte, l'« input », et l'image de droite le résultat obtenu grâce au modèle GAN, l'« output ».



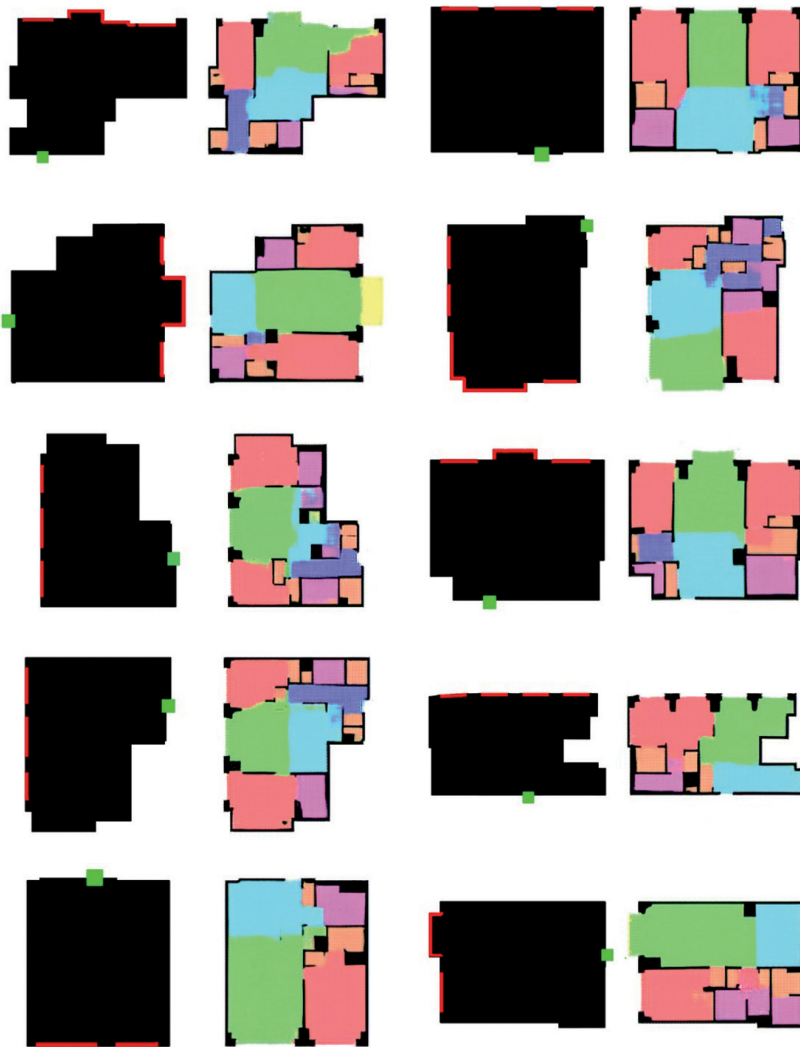
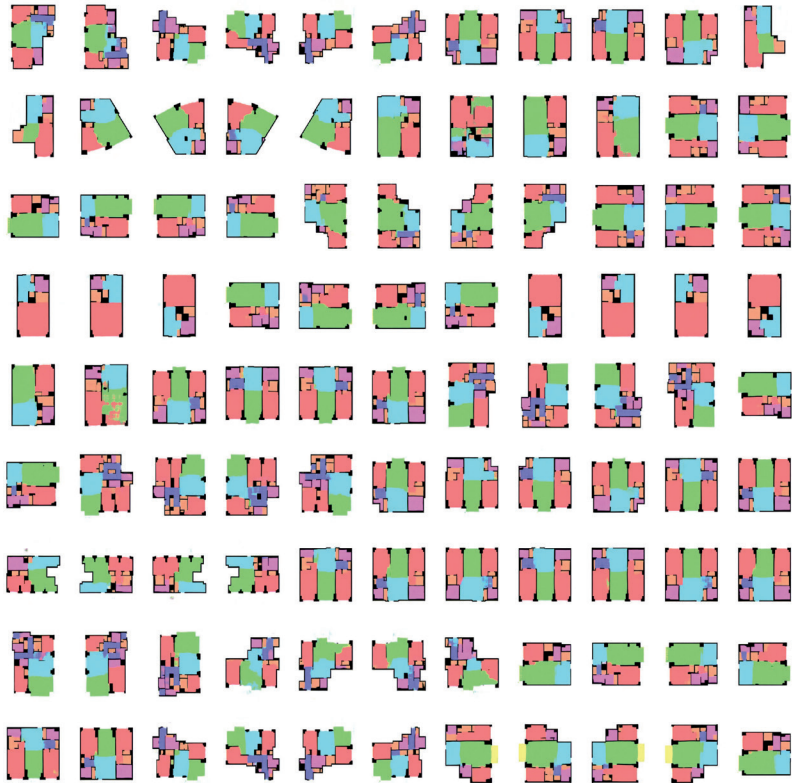


Fig. 2.7. Input et output de plans par le modèle ArchiGAN, Chaillou, Harvard, 2019

Si la qualité des typologies produites prête à discussion, il convient de considérer ces résultats comme un premier jet, à partir duquel l'utilisateur est invité à itérer. La variété des options produites est aussi l'une des forces d'une telle approche. En effet, en proposant de nombreuses formes à l'utilisateur (fig. 2.8), le modèle agit comme une source d'inspiration et offre dès les débuts de l'esquisse de multiples possibilités.

Ces résultats illustrent en réalité une version possible de la collaboration qui existera bientôt entre des modèles d'IA et l'architecte. Sur des questions techniques telles que l'agencement d'un programme, demandant une réflexion à la fois quantitative et qualitative, l'IA peut d'ores et déjà apporter des pistes d'exploration valides.

Fig. 2.8.
Plans générés
par le modèle
ArchiGAN,
Chaillou,
Harvard, 2019



RÉFÉRENCES ET RESSOURCES



 IA & Architecture,
FR une perspective
expérimentale
S. Chaillou, Towards
Data Science, 2019



 Space Layouts &
EN GANs
S. Chaillou, Towards Data
Science, 2020



 ArchiGAN
EN S. Chaillou, Nvidia
Developer Blog, 2019



 AI & Architecture,
EN Towards a New
Approach
Mémoire de recherche,
S. Chaillou, Harvard, 2019

l'intelligence artificielle au service de l'architecture

En architecture, le recours à l'intelligence artificielle (IA) en est encore à ses prémices. Pour autant, les résultats obtenus et escomptés sont engageants. Ce nouvel élan technologique semble à même de faire évoluer le périmètre et la pratique de l'architecture, ses méthodes et ses savoir-faire. En se plaçant à ce moment d'inflexion du métier, ce livre présente les résultats actuels et les promesses de l'IA dans sa conjonction avec l'architecture.

Il la replace d'abord dans l'histoire des sciences, en retraçant la généalogie des évolutions technologiques depuis un siècle : de la grille modulaire aux logiciels de conception, jusqu'à l'adoption progressive de l'IA. Un tour d'horizon des avancées récentes de cette dernière en architecture est ensuite présenté : génération de plans, élaboration de façades, exploration de possibilités structurelles, etc.

Cet ouvrage donne enfin la parole à des chercheurs, de l'université d'Harvard à celle du Bauhaus, dont les contributions et les points de vue esquissent une fresque de la diversité des possibles. De la création de variantes par de l'IA dite « générative » à la prédiction de la performance énergétique du bâti grâce au *machine learning*, leurs travaux posent aujourd'hui les jalons d'une IA adaptée à l'architecture.

En conjuguant théorie, exemples et contenus digitaux, cet ouvrage éclaire donc les débuts d'une nouvelle ère technologique : celle de l'IA, apte à servir la pratique architecturale pour les décennies à venir.

À propos de l'auteur

Stanislas Chaillou a obtenu sa licence d'architecture à l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), en 2015, et son master d'architecture à l'université d'Harvard en 2019. Ses travaux d'étude portaient sur les aspects théoriques et applicatifs de l'intelligence artificielle en architecture.

Il travaille désormais en tant qu'architecte et « *data scientist* » au sein du département de recherche et développement de Spacemaker, où il est chargé d'élaborer des projets de recherche autour de l'intelligence artificielle pour assister la conception architecturale.

ISBN 978-2-281-14485-7



EDITIONS

LE MONITEUR