

**L'IMPRESSION 3D EN ARCHITECTURE : POUR UNE  
FUTURE CONCEPTION CRÉATIVE ET DURABLE EN TUNISIE**

***3D printing in architecture: for a creative and  
sustainable future conception in Tunisia***

***Impressão 3D na arquitetura: para uma concepção  
criativa e sustentável do futuro na Tunísia***

Malek NOURI<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Malek NOURI est architecte intérieur, docteur en Sciences et Technologies du Design spécialité design espace de l'Ecole Supérieure Des Sciences et Technologies du Design de Tunis (ESSTED), [nouri.malek.mn@gmail.com](mailto:nouri.malek.mn@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0003-1938-3913>

## RÉSUMÉ

L'architecture est profondément influencée par les nouvelles technologies, constamment mise à l'épreuve des innovations et des tendances en quête d'ancrage et de performance environnementale. Ces avancées technologiques fulgurantes ouvrent la voie à de nouvelles formes de créativité en design d'intérieur. L'impression 3D également connue sous le nom de fabrication additive ouvre la voie à une conception spatiale plus intelligente et plus efficace. La technologie d'impression 3D a déjà connu un succès dans le monde, le manque de connaissance et de sensibilisation à la technologie dans le secteur de la construction, les méthodes de caractérisation des matériaux et les questions de fabrication posent un réel problème aux architectes et aux designers d'intérieur en Tunisie. Les interrogations qui s'imposent concernent la possibilité d'utiliser la technologie dans la conception des espaces intérieurs, la place qu'occupe aujourd'hui l'innovation dans la création de nos espaces et comment penser l'intersection entre design et impression 3D dans la conception de nos espaces de vie ? L'objectif de ce travail est d'identifier les enjeux de la conception architecturale créative et durable en Tunisie à travers l'impression 3D en recourant à une approche empirique fondée sur l'étude de cas et l'analyse de projets concrets. L'éducation en matière d'impression 3D nous permettra de réexaminer cette technologie innovante, qui pourrait apporter des solutions aux défis environnementaux et sociaux liés à la construction. Ce changement de paradigme va révolutionner notre façon de concevoir l'espace physique, l'architecture et le bâtiment dans un pays où l'architecture a été influencée par plusieurs civilisations.

**Mots-clés:** Impression 3D ; Architecture ; Conception créative ; Durabilité ; Tunisie.

### **Abstract**

*Architecture is deeply influenced by new technologies, constantly being tested by innovations and trends seeking to anchor and perform environmentally. These lightning-fast technological advances are paving the way for new forms of creativity in interior design. 3D printing, also known as additive manufacturing, is opening the door to smarter, more efficient spatial design. 3D printing technology has already seen success around the world, but the lack of knowledge and awareness of the technology in the construction sector, material characterization methods, and manufacturing questions pose a real problem for architects and interior designers in Tunisia. The questions that arise are the possibility of using the technology in the design of interior spaces, the role that innovation plays today in creating our spaces, and how to think about the intersection between design and 3D printing in the*

*design of our living spaces? The aim of this work is to identify the challenges of creative and sustainable architectural conception in Tunisia through 3D printing, using an empirical approach based on case studies and the analysis of concrete projects. Education on 3D printing will allow us to re-examine this innovative technology, which could bring solutions to the environmental and social challenges related to construction. This paradigm shift will revolutionize our way of designing physical space, architecture, and building in a country where architecture has been influenced by multiple civilizations.*

**Keywords:** *3D printing; Architecture; Creative conception; Sustainability; Tunisia.*

## **Riassunto**

*L'architettura è profondamente influenzata dalle nuove tecnologie, sottoposta costantemente a innovazioni e tendenze alla ricerca di un ancoraggio e di una prestazione ambientale. Queste rapide avanzate tecnologiche aprono la strada a nuove forme di creatività nel design d'interni. La stampa 3D, nota anche come produzione additiva, apre la strada a una progettazione spaziale più intelligente ed efficiente. La tecnologia di stampa 3D ha già riscosso successo nel mondo, ma la mancanza di conoscenza e di sensibilizzazione alla tecnologia nel settore della costruzione, i metodi di caratterizzazione dei materiali e le questioni relative alla produzione rappresentano un vero problema per gli architetti e i designer d'interni in Tunisia. Le domande che sorgono sono: la possibilità di utilizzare la tecnologia nella progettazione degli spazi interni, il ruolo attuale dell'innovazione nella creazione dei nostri spazi e come pensare l'intersezione tra design e stampa 3D nella progettazione dei nostri spazi abitativi? O objectivo deste trabalho é identificar os desafios da concepção arquitectónica criativa e sustentável na Tunísia através da impressão 3D, utilizando uma abordagem empírica baseada em estudos de caso e na análise de projectos concretos. L'educazione sulla stampa 3D ci permetterà di riesaminare questa tecnologia innovativa, che potrebbe fornire soluzioni ai problemi ambientali e sociali legati alla costruzione. Questo cambiamento di paradigma rivoluzionerà il nostro modo di progettare lo spazio fisico, l'architettura e l'edificio in un paese in cui l'architettura è stata influenzata da numerose civiltà.*

**Parole chiave :** *Impressão 3D; Arquitectura; Concepção criativa; Sustentabilidade; Tunísia.*

## 1 INTRODUCTION

Le monde actuel subit des mutations inédites, la révolution numérique a bouleversé les systèmes économiques, écologiques et sociétaux dans divers pays. La société dans laquelle nous vivons actuellement est très axée sur les technologies émergentes. Elles touchent plusieurs domaines tels que la médecine, l'enseignement, la culture, les arts, l'ingénierie, l'artisanat et notamment l'architecture. Les technologies numériques ont bouleversé la conception et la fabrication des objets, transformant la pratique des architectes, designers, artistes (BIER, 2017). Cependant l'évolution de la technologie dans les domaines de l'architecture et du design amène les scientifiques et les chercheurs à mettre davantage l'accent sur l'impression 3D. Cette dernière est souvent appelée "fabrication additive" (Additive Manufacturing (AM)). L'impression 3D est un procédé de fabrication additive automatisé, dans lequel une imprimante 3D crée un modèle physique à partir de données numériques (un objet 3D) (OUHSTI et al., 2018). Anciennement appelée stéréolithographie, ce procédé a été développé il y a une trentaine d'années, mais s'est récemment généralisé pour son application aux grandes dimensions et à une variété de matériaux. L'influence de l'impression 3D sur les dynamiques sociales et environnementales nous permet d'envisager la conception, la collaboration et le partage des connaissances et des compétences envisagées sous un nouveau regard. Elle permet à l'industrie de la construction de créer rapidement des modèles et des prototypes, leur permettant de tester et perfectionner de nouveaux produits plus rapidement. Résous aussi les problèmes de vitesse, de coûts de main-d'œuvre, de précision et d'efficacité. En effet, elle offre de nombreux avantages tels que l'augmentation de la productivité et la réduction des erreurs humaines. En outre, sa nature automatisée, numérisée et renouvelable a des répercussions dans divers domaines tels que la réglementation, la culture, l'environnement, l'économie et la société (NEBRIDA, 2022). Les avancées technologiques dans l'impression 3D permettent aux concepteurs et aux architectes de créer directement des modèles architecturaux très précis à partir de schémas numériques. Les promesses de cette technologie sont nombreuses pour le champ de l'architecture : formes nouvelles, souplesse et précision de la réalisation, rapidité d'exécution, économie de matière et de déchets, réduction des coûts, diminution des nuisances, de la pénibilité du travail et des risques sur le chantier. Le développement technologique implique des préoccupations interdisciplinaires dans les activités d'investissement dans l'approfondissement de niches connues et dans l'exploration de nouvelles niches applicatives (ANDRÉ, 2018). Les applications de la fabrication additive dans le secteur de l'architecture et du design offrent de nouvelles perspectives de création. Leur utilisation dans l'architecture a progressé, passant de la modélisation à l'échelle à un produit fini en taille réelle (ARSLAN SELÇUK; SORGUÇ, 2015). L'impression 3D peut stimuler la créativité en

permettant la réalisation rapide d'idées sans passer par un long processus de conception. Elle est capable de changer notre perception de l'espace architectural est donc capable de transformer notre mode de vie.

Cette étude a pour objectif d'analyser les progrès réalisés dans la conception architecturale et les pratiques de construction grâce à l'utilisation de l'impression 3D. Nous examinerons comment cette technologie peut être améliorée par l'exploration de nouveaux matériaux adaptés à la conception. L'objectif principal est d'identifier les défis de la conception architecturale créative et durable en Tunisie en utilisant l'impression 3D. En adoptant une approche empirique fondée sur l'étude de cas et l'analyse de projets concrets faisant appel à l'impression 3D et aux nouveaux matériaux, la méthodologie proposée aspire à évaluer de manière pragmatique la pertinence et l'efficacité de ces technologies dans la conception et la construction architecturales. La méthodologie cherchera à identifier les opportunités d'utilisation de l'impression 3D pour promouvoir une conception de bâtiments plus durable et créative en Tunisie. Les technologies numériques, en particulier la fabrication additive (FA), révolutionnent le paysage architectural. Si dans le monde, la technologie additive quitte les seules applications du design et du mobilier pour aller vers des ouvrages complexes de bâtiments et d'infrastructures, elle reste timide en Tunisie. Et comme les véritables solutions industrielles sont encore à développer en Tunisie, il y a tout de même d'importantes opportunités.

## 2 VERS UN NOUVEAU MODE DE CONCEPTION : INNOVATION-TECHNOLOGIES

Les avancées fulgurantes de la technologie ouvrent la voie à un nouveau genre de créativité dans le domaine de l'architecture et du design d'intérieur. L'une des avancées les plus significatives est l'impression 3D. Cette technologie permet de relier la conception architecturale à la construction de manière inédite, offrant ainsi de nouveaux horizons pour la création architecturale. Elle permet de repousser les limites et de se libérer des contraintes qui rendaient impossible de considérer la conception et la construction comme deux processus uniques et indivisibles. Elle nécessite moins d'énergie, moins de main-d'œuvre, utilisant également les matériaux de manière judicieuse. Il est possible de calculer avec précision la quantité de matériaux nécessaires, ce qui réduit les déchets et les coûts sachant que le coût de construction varie en fonction de plusieurs facteurs tels que l'épaisseur de la paroi, la teneur du mélange utilisé ou encore l'emplacement de la construction.

Le travail de conception, c'est un espace de liberté dans un énorme volume de contraintes. Quand on fait de la conception, on a des contraintes physiques, des contraintes de programme, mais ça reste des points de départ dont on discute et qu'on

peut dépasser. Et c'est là qu'il y a un espace de liberté (RAYNAUD, 2004).

Les architectes et les designers peuvent ainsi explorer de nouveaux territoires créatifs en intégrant la conception et la construction dans un même processus, permettant une réalisation plus rapide et plus précise des projets. Les architectes sont constamment confrontés à des défis liés à la nécessité d'intégrer à leurs conceptions de plus en plus d'informations, et ce dès le début du processus. Ils doivent s'adapter en permanence aux changements technologiques majeurs, tels que le Dessin Assisté par Ordinateur (DAO), la Conception Assistée par Ordinateur (CAO), la modélisation paramétrique, la conception générative, les pratiques BIM (Building Information Modeling) et autres technologies de pointe. En réponse à ces défis, de nouveaux outils toujours plus performants ne cessent de leur être proposés, amplifiant une vague technologique qui parfois les stimule, parfois les dépasse, en fonction essentiellement de leur culture numérique et du contexte (socio-économique, structurel, organisationnel) dans lequel ils opèrent au quotidien.

La communication entièrement numérique a l'avantage supplémentaire de faire tomber des barrières à la créativité architecturale. Un architecte peut ainsi proposer à meilleur prix des solutions entièrement ou partiellement personnalisées sans avoir à penser comment former des professionnels pour concrétiser son idée novatrice (SWETS et al., 2000).

L'architecture entre dans une nouvelle ère porteuse de visions créatives inédites pour cet art majeur incarnant la diversité culturelle et les croyances de différents pays ou milieux (WANG, 2017). Cette nouvelle ère permet également une plus grande variété formelle et une plus grande richesse symbolique pour les bâtiments et les espaces conçus par les architectes et les designers. Pour y parvenir, plusieurs techniques d'impression 3D peuvent être utilisées pour imprimer des modèles architecturaux tels que la stéréolithographie, le moulage par dépôt de matière fondue, le frittage laser sélectif et le jet de liant. L'apparition de l'imprimante 3D dans la pratique de l'architecte représente, à bien des égards, un bouleversement majeur, presque une révolution, tant elle transforme la conception et même la fabrication de l'architecture. Plusieurs techniques, telles que la stéréolithographie, le moulage par dépôt de matière fondue, le frittage laser sélectif et le jet de liant, peuvent être utilisées pour imprimer des modèles architecturaux en 3D. Chaque technologie d'impression 3D offre des avantages distincts, adaptés à certaines applications. Chaque type d'imprimante 3D utilise une technologie spécifique qui traite de nombreux matériaux de différentes manières. Il est important de souligner que l'une des limites actuelles de l'impression 3D réside dans le fait qu'il n'existe pas de solution unique pour tous les matériaux et toutes les imprimantes. Les avantages de l'impression 3D dans le secteur de la construction se caractérisent par les solutions innovantes qu'elle apporte. La durabilité et la rentabilité sont également d'autres avantages de l'impression 3D. Face à des projets de grande envergure,

la fabrication additive nous apporte une véritable autonomie de conception, en créant de nouvelles formes et en répondant à des nouvelles exigences.

Cette nouvelle technologie accélère déjà la construction, aidant les architectes à économiser du temps, des efforts et des matériaux supplémentaires.

Les Émirats arabes unis ont rapidement compris les avantages de l'impression 3D. Ils ont même déjà établi une stratégie qui les place à l'avant-garde en matière d'impression 3D. Leur but est de construire 25 % des nouveaux bâtiments à Dubaï grâce à l'impression 3D d'ici 2030. Pour les États-Unis et le Vieux Continent, le nombre d'impressions 3D est également en augmentation. L'entreprise PERI GmbH a commencé la construction du plus grand complexe résidentiel imprimé en 3D en novembre 2020 en Allemagne<sup>2</sup>.

Par ailleurs, l'impression 3D a eu un impact significatif et positif sur la crise mondiale du logement en permettant de construire des maisons pour les sans-abris de manière plus rapide et rentable. L'impression 3D, c'est l'avenir du logement durable et abordable, pense le professeur Banthia, qui évoque la Chine, les États-Unis et Singapour, où des quartiers entiers ont été bâtis à partir de cette technologie (HENSLEY, 2022). Des entreprises telles que 14Trees ont utilisé avec succès cette technologie pour construire des logements abordables au Kenya, tout en cherchant à innover pour réduire encore plus les coûts de construction. Les résultats obtenus par cette entreprise ont été supérieurs à ceux de projets similaires menés aux États-Unis, ce qui témoigne de l'importance potentielle de l'impression 3D pour résoudre la crise du logement social dans le monde entier (EVERETT, 2021). Toutefois, cette technologie a aussi ses propres défis, en termes d'investissement initial coûteux dans les imprimantes 3D, de capacité à trouver des matériaux imprimables, qui sont assez limités, ainsi que de constructibilité, d'intégrité structurelle et de responsabilité, entre autres. Les architectes doivent relever des défis pour évaluer la capacité de leurs bâtiments imprimés en 3D à supporter des charges importantes telles que des meubles, tout en assurant leur solidité structurelle. L'adoption de cette technologie reste un défi pour la profession en raison des modifications qu'elles occasionnent, qui touchent à la fois la pratique architecturale, le rapport au contexte ou encore les rôles des architectes et des professionnels qui y sont associés (DEUTSCH, 2019). Les architectes doivent donc s'adapter à ces évolutions tout en veillant à la qualité et à la sécurité de leurs constructions imprimées en 3D. Malgré le riche potentiel de l'impression 3D, son coût d'acquisition reste élevé et de nombreux pays méditerranéens en l'occurrence en Tunisie, ne se sont pas encore véritablement appropriés cette technique afin de l'adapter aux besoins de la société. Dans le but de favoriser l'adoption de l'impression 3D en Tunisie, il est important de promouvoir son usage et de développer des programmes d'éducation et de formation spécifiques. Il est

---

<sup>2</sup> L'impression 3D en architecture : une technologie qui accélère la conception et la construction (<https://blog.enscape3d.com/fr/impression-3d-architecture>)

tout aussi important de sensibiliser les entreprises et les organismes gouvernementaux à l'importance et aux avantages de l'utilisation de l'impression 3D.

### 3 TECHNOLOGIES ET MATÉRIAUX D'IMPRESSION 3D DANS LE DESIGN D'INTÉRIEUR

Les technologies et les matériaux d'impression 3D sont en plein essor et commencent à être utilisés dans le design d'intérieur. Grâce à ces nouvelles possibilités, les designers peuvent créer des formes organiques uniques qui étaient jusqu'alors impossibles à réaliser avec les techniques de fabrication traditionnelles. Comme l'explique Lebrunet,

Les technologies d'impression 3D permettent aujourd'hui de matérialiser de très grandes complexités morphologiques par les moyens d'un processus finalement très simple d'un point de vue conceptuel, mais qui a dû attendre un certain niveau de développement technologique afin de pouvoir être mis en œuvre » (LEBRUNET, 2018).

Les imprimantes 3D et les nouveaux matériaux ouvrent de nouvelles perspectives passionnantes dans le domaine du design d'intérieur. Elle a permis à de nombreux architectes et décorateurs d'intérieur d'être encore plus créatifs dans leurs aménagements, leurs meubles et leurs articles de décoration intérieure, ce qui leur donne un aspect vraiment personnalisé et élégant. Le principal intérêt de ce procédé réside dans le fait qu'il simplifie la matérialisation des projets les plus complexes en un temps très court. Les détails sont parfaitement exécutés et conformes à la réalité de l'exemple. Cette précision est un atout considérable en architecture, et surtout en design. De nombreux matériaux sont actuellement adaptables à divers procédés d'impression 3D. Grâce au moulage par injection (HEANEY, 2019), même les dimensions les plus restreintes peuvent être créées à partir des matières plastiques, des résines ou de l'aluminium. La couleur, la finition de surface et les détails sont importants. Malgré la limite des matériaux utilisables, il existe une diversité de matériaux aux propriétés différentes qui peuvent être utilisées. Parmi ces matériaux, on dénombre notamment la fibre de verre en nylon, le matériau en nylon durable, le matériau en plâtre, le matériau en aluminium, l'alliage de titane, l'acier inoxydable, ainsi que les matériaux en caoutchouc plaqué argent, ou d'or. Les possibilités d'impression 3D sont accrues grâce au progrès technologique des matériaux, qui répondent à des besoins spécifiques. La gamme de matériaux utilisés en impression 3D a connu une augmentation et devenue plus variée, on note des matériaux tels que : les poudres, résines, le plastique dur ou mou, le métal, le verre fondu, Inox, les éco matériaux comme les poudres de bois, de roche et bien plus. Actuellement les machines d'impression 3D ne produisent que des pièces mono-matériaux, mais la possibilité de fabriquer des plastiques composites débute. L'impression 3D commence à se développer avec d'autres matériaux, il est possible d'imprimer du bois

en 3D, certes, mais il ne s'agit pas de bois massif, il est traité avec un plastique qui sert de liant et se présente sous la forme d'un rouleau, nommé WPC (wood plastic composite)<sup>3</sup>. Ce matériau présente plus d'avantages que celle du bois naturel, assurant l'isolation, plus de résistance aux intempéries, plus de durabilité et des coûts d'entretien moins élevés. D'autre part, il représente un atout esthétique acquis par la variation des tons et des couleurs du produit imprimé. L'impression 3D en bois est une technique respectueuse de l'environnement. Cette technique d'impression 3D permet de conserver les différentes valeurs sensorielles de ce matériau, le toucher, la vue et même l'odeur. L'application de ce matériau est relativement restreinte aujourd'hui du fait de sa nouveauté. Les matériaux choisis et la technique d'impression sont deux facteurs cruciaux qui affecteront de manière significative la résistance et la durabilité des structures imprimées en 3D. Afin d'optimiser les matériaux pour l'impression 3D, les concepteurs doivent accorder une attention particulière aux propriétés mécaniques et thermiques du matériau final.

Ainsi, les scientifiques à travers le monde travaillent sur des gammes de procédés permettant un contrôle accru des propriétés matérielles (physiques, mécaniques et électriques) des composants imprimés, notamment en surveillant la manière dont les structures moléculaires sont agencées lors de l'impression » (BOUFFARON, 2014).

Cela permet aux scientifiques et aux ingénieurs de contrôler la force, la ténacité, la flexibilité et l'élasticité des matériaux, offrant la possibilité d'une combinaison de propriétés qui était seulement une utopie quelques ans auparavant. Grâce aux possibilités offertes par l'impression 3D, le design d'un mur peut être personnalisé en fonction de divers besoins. La résolution, l'orientation de la construction et le choix des matériaux ont tous une incidence sur l'épaisseur des parois lors de l'utilisation de l'impression 3D. Les imprimantes 3D peuvent modifier avec une grande précision l'épaisseur d'une structure. Les imprimantes 3D faites recourent à des méthodes d'optimisation pour déterminer l'épaisseur optimale d'une structure. L'une de ces techniques est l'optimisation topologique, qui utilise des formules mathématiques pour déterminer la répartition idéale des matériaux à l'intérieur d'un volume donné, soumis à des restrictions mécaniques plus ou moins importantes (ALLAIRE; JOUVE, 2009). L'innovation autour de l'impression 3D pour la construction ouvrira de nouvelles voies à l'architecture lorsqu'elle pourra enfin intégrer des matériaux, des connaissances et des demandes locales pour le grand public.

#### 4 L'IMPRESSION 3D AU SERVICE DE LA DURABILITÉ ÉCOLOGIQUE

---

<sup>3</sup> L'impression 3D en architecture : une technologie qui accélère la conception et la construction (<https://blog.enscape3d.com/fr/impression-3d-architecture>)

L'impression 3D est considérée de plus en plus comme une technologie respectueuse de l'environnement qui a le potentiel de révolutionner la façon dont nous fabriquons des biens. Cette technologie utilise principalement des matériaux courants, ce qui permet de réduire les déchets et d'obtenir des objets plus durables grâce aux nouveaux matériaux employés. Les conditions météorologiques sont susceptibles de ralentir le processus de construction traditionnel, mais les choses peuvent encore s'amplifier avec l'impression 3D. Cette technologie est aussi une alliée précieuse du souci environnemental, une caractéristique très importante dans la recherche de processus de fabrication durables, économes en ressources et en déchets. La fabrication additive se conjugue très souvent avec une réduction de l'utilisation des ressources, une diminution de l'impact des transports, du recyclage, de la réutilisation de matériaux, et une soutenabilité des méthodes d'impression. Dans la mesure où les pertes de matériaux peuvent être évitées, la fabrication additive est une technologie qui peut constituer la base du développement durable (GAO et al., 2015). Selon le rapport d'analyse de marché de juillet 2021 de Grand View Research,

L'adoption croissante de méthodes de construction écologique est l'un des facteurs clés du développement de ce marché. Le secteur de la construction adopte de plus en plus l'impression 3D et des méthodes de construction écologique pour réduire les coûts et sortir de terre des bâtiments avec une meilleure efficacité énergétique »<sup>4</sup>.

De plus, des imprimantes 3D peuvent être développées pour fabriquer des structures à partir de matériaux organiques, durables et renouvelables. Ainsi, en utilisant moins de matériaux, en générant moins de déchets, et en utilisant potentiellement des matériaux naturels recyclables ou biodégradables, les bâtiments imprimés peuvent réduire considérablement leur empreinte écologique. Cette technologie pourrait être la clé de la création de bâtiments durables et évolutifs sur le marché actuel du logement. La première maison imprimée en 3D, entièrement composée de matériaux biosourcés, issus de la matière organique renouvelable, a été construite par des chercheurs de l'université du Maine, aux États-Unis (Figure 1).

---

4 GrandView. 3D printing construction market size, share & trends analysis report by construction method (Extrusion, Powder Bonding), by material type (Concrete, Metal), by end-user (Building, Infrastructure), and segment forecasts, 2022 – 2030. Available: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/3d-printing-constructions-market> [Accessed 12 July 2022] (<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/3d-printing-constructions-market>)

Figure 1- Maison biosourcée imprimée en 3D



Source : La première maison biosourcée imprimée en 3D<sup>5</sup>

Habituellement, les constructions de bâtiments en 3D sont essentiellement à base de béton ou d'argile. Dans ce genre le "BioHome3D" brise les codes de construction. La maison de 55 mètres carrés, imprimée en 12 heures en 3D, est construite à partir de produits forestiers biodégradables et recyclables. Les chercheurs ont remplacé les matières habituelles (ciment, béton, mortier) par une matière faite de fibres de bois et de résines naturelles provenant de l'industrie locale, qui peuvent être séchées et mélangées avec des thermoplastiques. Selon les chercheurs, les murs, le sol, ainsi que le toit de la maison ont été réalisés en fibre de bois et en biosmol. En plus d'être une habitation durable, la maison BioHome3D est performante en termes d'isolation et peut concurrencer les constructions standard. Cette innovation a permis de démontrer que l'impression 3D est parfaitement compatible avec une vision d'un habitat social de haute qualité, atypique, confortable et performant.

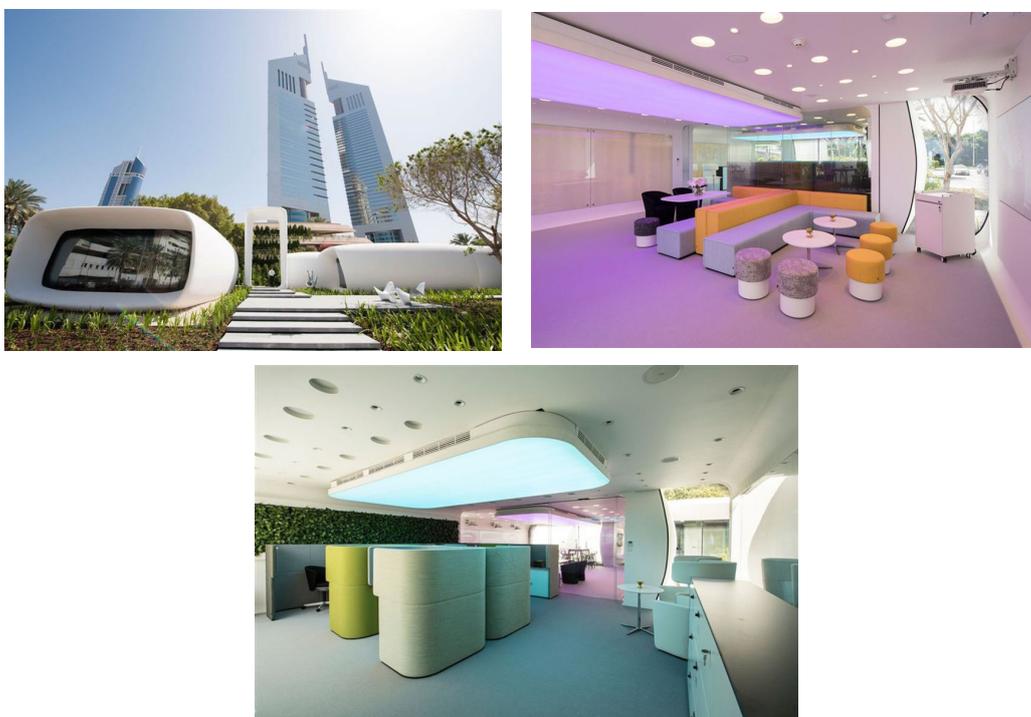
## 5 LA TUNISIE FACE AUX PROJETS INNOVANTS EN MATIÈRE DE LA TECHNOLOGIE D'IMPRESSION 3D

L'impression 3D permet de fabriquer des pièces avec des formes et des géométries complexes comme des arcs ou des figures en formes de dômes. Des formes qui sont parfois difficiles, voire même impossibles à produire avec les méthodes classiques. Certains pensent sans doute que l'impression 3D sert à produire de petits objets que l'on peut tenir en main. Des entreprises ont cherché à exploiter des flux de travail additifs pour produire des composants fonctionnels beaucoup plus grands. Ces dernières années, diverses initiatives ont été lancées pour créer des maisons et d'autres structures plus grandes produites entièrement par impression 3D, ouvrant de nouvelles perspectives dans le domaine de la construction et du logement durables qui respectent également les normes de confort modernes. La technique d'impression 3D donne toute liberté aux architectes au niveau de la

<sup>5</sup> La première maison biosourcée imprimée en 3D (<https://www.3dnatives.com/maison-biosourcee-29112022/>)

forme, même avec des matériaux de construction moins malléables comme le béton. Il existe de multiples exemples de l'application de l'imprimante 3D dans les espaces architecturaux à travers le monde : maisons, cabanes, bureaux, ponts, pavillons, structures à grande échelle, abris. Bien sûr chaque exemple diffère de l'autre, vu la diversité des facteurs climatiques et des caractéristiques de construction de chaque pays. Ces exemples démontrent la complexité du sujet abordé. Les nouveaux bureaux futuristes imprimés en 3D conçues par Killa Design (en collaboration avec Gensler) pour le comité national des Émirats arabes unis et qui serviront de siège à la Dubai Future Foundation, ainsi qu'un espace d'exposition et un incubateur pour les technologies émergentes de la région, comptent parmi les premiers lieux opérationnels imprimés entièrement en 3D au monde (Figure 2).

Figure 2 - L'Office of the Future, Émirats arabes unis /bureaux réalisés à Dubaï



Source : Dubai debuts world's first fully 3D-printed building<sup>6</sup>

Il s'agit d'un bâtiment entièrement fonctionnel d'une surface de 250 m<sup>2</sup>, certains éléments de la plomberie, du système de climatisation, de l'électricité, des télécommunications auraient également été imprimés en 3D. Les pièces ont été imprimées en usine en 17 jours et assemblées sur place en seulement 48 h. Ce bâtiment est équipé de technologies d'économie d'énergie. La forme en arc du bâtiment a été choisie pour optimiser la stabilité et la sécurité de la construction. Ce bâtiment sera un témoignage attestant de l'efficacité et de la créativité de la technologie d'impression en 3D. Cette Technologie vise à réduire le temps

<sup>6</sup> Dubai debuts world's first fully 3D-printed building (<https://inhabitat.com/dubai-debuts-worlds-first-fully-3d-printed-building/>)

de construction, les coûts de main-d'œuvre et les déchets de construction. Unique par sa conception et sa modularité, le bureau du futur est salué comme une première initiative majeure et un exemple révolutionnaire de fabrication contrôlée par ordinateur dans la construction de bâtiments. Le projet est un précurseur du Musée du Futur<sup>7</sup> (également conçu par Killa Design). Il s'inscrit dans la stratégie du Dubai Future Agenda, lancée par les Émirats arabes unis pour devenir un incubateur majeur de l'innovation et des technologies du futur dans le monde. Dubaï continue également de conduire le programme d'innovation à travers des efforts de réflexion prospective et le développement de la pensée exponentielle.

En 2021, un groupe de l'université de Waterloo à Toronto, au Canada, a construit un mur de séparation (Figure 3) de 2,3 m × 5,4 m pour les bureaux. La structure a été remarquée pour son design et pour le fait qu'elle a été créée à l'aide d'une imprimante 3D de pointe.

Figure 3 - Mur de maçonnerie imprimé en 3D



Source : Mur de maçonnerie imprimé en 3D : l'introduction de l'artisanat numérique<sup>8</sup>

Le projet HIVE réinvente l'artisanat et l'art de la fabrication d'objets en argile. Il associe la céramique traditionnelle à une géométrie intelligente et à une précision robotique. L'objectif est de créer un mur composé de cent soixante-cinq briquettes d'argile imprimée une à une. Avec l'imprimante 3D, les triangles formés de quatre formes hexagonales sont combinés pour produire un mur solide et perméable. Cette méthode permet également de créer un objet artistique unique avec un motif, une texture et une couleur distinctifs. La liberté de conception offerte par la technologie d'impression 3D a permis de créer le motif "nid

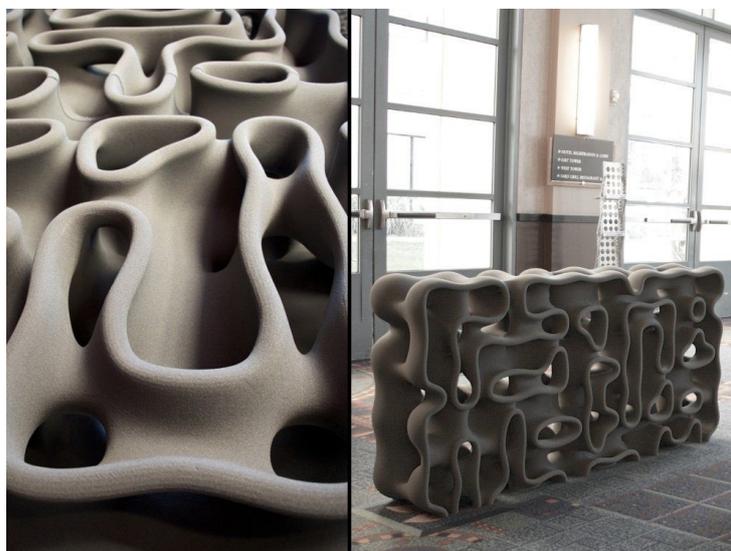
<sup>7</sup> Museum of the Future : Le musée de Dubaï (<https://museumofthefuture.ae/en>)

<sup>8</sup> Mur de maçonnerie imprimé en 3D : l'introduction de l'artisanat numérique (<https://decor.design/fr/mur-de-maçonnerie-imprime-en-3d-lintroduction-de-lartisanat-numerique/>)

d'abeille" visible sur le mur.

Afin de créer des designs convaincants, Emerging Objects a conçu, à partir d'un mélange de sable, un mur (Involute Wall) imprimé en 3D (Figure 4) assurant l'isolation thermique et acoustique (RAEL; SAN FRATELLO, 2018).

Figure 4- Un mur 3D antibruit et anti-chaueur



Source : Printing architecture: Innovative recipes for 3D printing. (RAEL; SAN FRATELLO, 2018)

La conception originale du Involute Wall, déterminée par son matériau et sa forme, lui permet d'absorber et de rediriger les ondes sonores tout en jouant le rôle d'une masse thermique. De plus, cette conception permet de maintenir une partie importante du mur à l'ombre.

Avec des projets de plus en plus ambitieux et le développement de la conception paramétrique, l'impression 3D devient presque indispensable à la bonne compréhension de la forme dans l'espace. L'espoir réside dans des matériaux extrudables innovants qui seraient suffisamment solides pour se passer de renfort. En Tunisie, la fabrication additive n'a commencé à être introduite que récemment et son exploitation demeure très modeste par rapport aux expériences mondiales. L'expérience tunisienne dans ce domaine demeure limitée aux clubs de fabrication numérique dans les écoles d'ingénieurs et aux événements de développement technologique. Bien que cette technologie ait un grand potentiel, l'expérience tunisienne dans ce domaine est encore peu développée. Les entreprises pourraient exploiter cette technologie pour renforcer leur compétitivité, mais cela nécessite une plus grande adoption et une meilleure exploitation de l'impression 3D dans le pays. Ainsi, la Tunisie, doit relever le défi afin d'améliorer et renforcer l'expertise des acteurs impliqués dans cette technologie qui recèle un grand potentiel dans le domaine de l'innovation. Des réformes sérieuses et des efforts au niveau des infrastructures sont essentiels pour parvenir

aux objectifs précités. Par conséquent, les entreprises numériques sont invitées à innover et améliorer leurs solutions d'impression 3D pour atteindre la maturité technologique et assurer la longévité de leur compétitivité parmi les enjeux économiques et écologiques mondiaux. C'est pourquoi il est essentiel pour la Tunisie de mettre en place une stratégie nationale de promotion de la fabrication additive pour permettre l'évolution de l'industrie tunisienne vers l'industrie 4.0 (BLANCHET, 2016). Cela nécessite, bien entendu, un ensemble de mesures :

- La sensibilisation à l'importance de l'impression 3D et à ses avantages en profitant des rassemblements des professionnels du domaine de l'architecture et des événements type foire et congrès pour mieux présenter la technique et la faire adopter par les professionnels du domaine.

- Une formation de qualité orientée 3D pour fournir aux industriels, investisseurs et concepteurs, les compétences humaines capables de s'approprier ces nouvelles techniques et technologies, Les Tunisiens ont déjà prouvé leur excellence dans plusieurs domaines, en démontrant leur capacité d'apprentissage et d'innovation, ainsi que leur volonté de relever les défis. Ces qualités sont largement reconnues et recherchées à l'échelle internationale.

- En parallèle, il serait intéressant de dynamiser la recherche, notamment dans le domaine des matériaux, principal pilier de la fabrication additive. Le succès de cette recherche est tributaire des nouveaux outils d'intelligence artificielle et d'automatisation de la conception. On peut imaginer une exonération forfaitaire pour les entreprises qui s'engagent activement à faire des recherches et des innovations dans le domaine de l'impression 3D dédié à l'architecture et la construction. Cette initiative permettra à un petit pays méditerranéen en développement, grâce à ses ambitions et au niveau d'expertise de ses professionnels, de réaliser un retour sur investissement significatif grâce à des économies de temps et de matériaux, ainsi qu'une reconnaissance internationale.

- Le changement de mentalité : une des clés principales pour maximiser et exploiter durablement toutes les possibilités offertes par la fabrication additive nécessitant de nouvelles compétences en matière d'ingénierie et d'architecture. Afin d'améliorer la collaboration entre les différents acteurs, il est impératif de commencer par agir sur les mentalités via le système éducatif, les associations, les entreprises, les médias et les architectes qui doivent se partager une grande part des responsabilités. Nombreux sont encore attachés culturellement aux bâtiments traditionnels mais l'acceptation de ce type de construction jouera un rôle dans l'ouverture d'esprit collective et l'amélioration d'une vision futuriste qui n'est pas en opposition avec la pénurie de mains d'œuvre qualifiées étant donné que nous aurons une forte demande de professionnels de l'impression 3D additive, sans omettre que la possibilité de personnaliser son espace de vie, de travail ou même de loisir aura un impact considérable sur l'apaisement et la sérénité des usagers . Un cadre de vie bien conçu est une tension sociale réduite.

Cette technologie va complètement changer notre approche de l'espace, de l'architecture, du bâtiment et même de nos relations sociales. Pour ce faire, il est nécessaire que le gouvernement tunisien mette en place des programmes d'enseignement adaptés et des initiatives afin de promouvoir et encourager l'utilisation de l'impression 3D dans ce domaine. Il serait également judicieux de créer des partenariats avec des entreprises spécialisées dans ce domaine afin de proposer des formations et des stages d'apprentissage pour les étudiants. L'enseignement de l'impression 3D en architecture d'intérieur mettra l'accent sur l'utilisation des technologies numériques pour la conception et la fabrication de pièces architecturales. Il fournira des connaissances et des compétences essentielles aux étudiants en architecture d'intérieur afin qu'ils puissent concevoir des conceptions uniques et innovantes. En outre, l'enseignement de l'impression 3D à une génération plus jeune aidera à encourager la créativité et l'innovation à travers la Tunisie, ce qui va bénéficier à l'économie. De plus, cette technologie peut également offrir aux étudiants des connaissances pratiques et des compétences précieuses dans le domaine de l'architecture et de l'ingénierie qui leur seront nécessaires pour réussir dans le monde professionnel.

## 6 CONCLUSION

La technologie d'impression 3D est une méthode novatrice de conception et de production qui vient compléter et améliorer les techniques traditionnelles. Non seulement elle présente une solution rentable à court et long terme pour le développement durable, mais elle offre également des outils numériques permettant de construire des structures plus respectueuses de l'environnement. Cette technologie permet une plus grande liberté de conception, une production plus rapide de produits finaux fonctionnels, et une réduction des déchets ainsi que des coûts. Les architectes l'apprécient pour sa simplicité et sa flexibilité, même si la taille des projets et la disponibilité des matériaux restent des défis à surmonter.

La fabrication additive est une technologie très avancée, mais peu répandue en Tunisie. Cette technologie ouvre la voie à une future conception créative et durable en Tunisie, qui peut jouer un rôle clé dans la promotion de l'innovation et du développement durable dans le secteur de la construction. Cependant, la Tunisie doit s'engager à améliorer et à renforcer l'expertise des acteurs impliqués dans l'impression 3D. Des réformes et des investissements dans les infrastructures sont essentiels. Les entreprises doivent innover et améliorer leurs solutions pour atteindre la maturité technologique et assurer leur compétitivité. Le gouvernement doit mettre en place des programmes d'enseignement et des initiatives pour promouvoir l'utilisation de l'impression 3D en architecture d'intérieur et encourager la créativité et l'innovation. L'intégration de l'enseignement de l'impression 3D au cursus des

étudiants en architecture et en ingénierie constitue une méthode efficace pour leur transmettre des compétences pratiques et les outiller face aux défis à venir dans leurs domaines respectifs. Les dernières avancées significatives dans cette technologie offrent des possibilités créatives et innovantes, notamment grâce à l'utilisation de matériaux variés. En intégrant cette technologie dans les programmes d'enseignement, les établissements d'enseignement peuvent aider à façonner une nouvelle génération de professionnels capables de relever les défis de demain en matière de conception et de production. La Tunisie dispose d'une réelle opportunité de devenir pionnière dans l'utilisation de cette technologie au service du développement durable. Mais cela nécessitera volonté politique, investissements conséquents et réformes structurelles, notamment dans le système éducatif, pour accompagner et anticiper la révolution de l'impression 3D<sup>9</sup>.

---

9 Révision de la grammaire par Abdessalem Hajlaoui, Enseignant universitaire, Université Tunis El Manar, [abdessalem.hajlaoui@enit.utm.tn](mailto:abdessalem.hajlaoui@enit.utm.tn), <http://www.utm.rnu.tn/utm/fr/annuaire-ens-794-abdessalem-hajlaoui>

## RÉFÉRENCES

ALLAIRE, G.; JOUVE, F. Design et formes optimales (III): Optimisation topologique. **Images des Mathématiques**, [s. l.], p. <http://images.math.cnrs.fr/Design-et-formes-optimales-III.html>, 2009.

ANDRÉ, J.-C. **De la fabrication additive à l'impression 3D/4D 1: Des concepts aux réalisations actuelles**. [S. l.]: ISTE Group, 2018. 2018.

ARSLAN SELÇUK, S.; SORGUÇ, A. Reconsidering The Role of Biomimesis in Architecture An Holistic Approach for Sustainability. In **2nd international sustainable building symposium—ISBS**, [s. l.], p. 382–388, 2015.

BIER, H. Henriette Bier et le laboratoire Hyperbody. **Imprimer Le Monde**. [S. l.]: Centre Pompidou, 2017. p. 260–261. Disponible em: <http://www.editions-hyx.com/fr/imprimer-le-monde-0>. Acesso em: 28 fev. 2023.

BLANCHET, M. Industrie 4.0 : nouvelle donne industrielle, nouveau modèle économique. **Géoéconomie**, Parisv. 82, n. 5, p. 37–53, 2016.

BOUFFARON, P. Impression 3D: Les prémisses d'une nouvelle (r) évolution industrielle? **Ambassade de France aux Etats-Unis, Washington, USA**, [s. l.], 2014.

DEUTSCH, R. **Superusers: design technology specialists and the future of practice**. [S. l.]: Routledge, 2019. 2019.

EVERETT, H. **14Trees to build largest 3D printed affordable housing project in Kenya**. [S. l.: s. n.], 2021. Disponible em: <https://3dprintingindustry.com/news/14trees-to-build-largest-3d-printed-affordable-housing-project-in-kenya-200870/>. Acesso em: 13 jun. 2023.

GAO, W.; ZHANG, Y.; NAZZETTA, D. C.; RAMANI, K.; CIPRA, R. J. RevoMaker: Enabling multi-directional and functionally-embedded 3D printing using a rotational cuboidal platform. Em: Proceeding of the 28th annual ACM symposium on user interface software & technology, 2015, [s. l.], . **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2015. p. 437–446.

HEANEY, D. F. **Designing for metal injection molding (MIM)**. Em: Handbook of metal injection molding. [S. l.]: Elsevier, 2019. p. 25–43.

HENSLEY, L. **Can a 3D architectural printer be the housing solution we need?**. [S. l.: s. n.], 2022. Disponível em: <https://www.cpacanada.ca/en/news/pivot-magazine/3d-printed-houses>. Acesso em: 13 jun. 2023.

LEBRUNET, H. **La disparition de l'architecte : la conception architecturale au prisme des nouvelles technologies et de l'époque contemporaine**. 2018. thesis - Dépôt Universitaire de Mémoires Après Soutenance, [s. l.], 2018. Disponível em: Acesso em: 28 fev. 2023.

NEBRIDA, J. **Automated Onsite Construction: 3D Printing Technology** Versão 4312547. Rochester, NY: [s. n.], 2022. SSRN Scholarly Paper. Disponível em: <https://papers.ssrn.com/abstract=4312547>. Acesso em: 10 jan. 2023.

OUHSTI, M.; HADDADI, B. E.; BELHOUIDEG, S. Matériaux intelligents par la technologie d'impression 3D: la fabrication intelligente. **Revue de l'entrepreneuriat et de l'innovation**, [s. l.], v. 2, n. 6, 2018. Disponível em: <https://revues.imist.ma/index.php/REINNOVA/article/view/13084>. Acesso em: 28 fev. 2023.

RAEL, R.; SAN FRATELLO, V. **Printing architecture: Innovative recipes for 3D printing**. [S. l.]: Chronicle Books, 2018. 2018.

RAYNAUD, D. Contrainte et liberté dans le travail de conception architecturale. **Revue française de sociologie**, Parisv. 45, n. 2, p. 339–366, 2004.

SWETS, J. A.; DAWES, R. M.; MONAHAN, J. Better decisions through science. **Scientific American**, [s. l.], v. 283, n. 4, p. 82–87, 2000.

WANG, W. **Architecture futuriste**: création de l'architecture futuriste à l'ère de la technologie numérique. [s. l.], p. 57, 2017.

Data de Submissão: 14/03/2023

Data de aceite: 31/07/2023

Data de publicação: 18/09/2023

