

Imprimer des bâtiments en 3D : une nouvelle façon de construire demain

Culture Sciences
de l'Ingénieur

école
normale
supérieure
paris—saclay

Emy CELESCHI - Clément DESODT - Hélène HORSIN MOLINARO

Édité le
07/09/2026

Cette ressource est issue du travail personnel d'Emy Celeschi, élève au département Génie Civil et Environnement à l'ENS Paris-Saclay, en lien avec son dossier industriel présenté lors du concours de l'agrégation externe SII, spécialité Ingénierie des Constructions, session 2025.

Les enjeux environnementaux prennent de plus en plus de place au sein des débats scientifiques, et le secteur de la construction n'échappe pas à la règle. En effet, ce dernier émet environ 23% des émissions de CO₂ nationales [1] (dont le plus grand responsable est le ciment utilisé dans le béton [2]), et la demande de logement est de plus en plus forte (augmentation du parc logement d'en moyenne 1.1% par an en France [3]). Il apparaît donc essentiel de modifier notre façon de construire afin d'y intégrer les questions de développement durable. Pour cela, plusieurs pistes sont actuellement en développement. On pense à la rénovation de bâtiments anciens, ou bien à l'utilisation de matériaux plus respectueux de l'environnement, tels que le bois, la terre (cuite ou crue), la paille, des fibres animales ou végétales... Une autre idée intéressante est de diminuer la quantité de matériau utilisée pour construire. En effet, certaines formes optimales des éléments d'un bâtiment ne peuvent être obtenues en coffrant du béton (comme c'est traditionnellement fait) : on utilise donc plus de béton que nécessaire pour assurer la résistance globale du bâtiment.

La technique d'impression 3D, initialement utilisée pour la fabrication de pièces mécaniques, semble être une bonne candidate pour relever le défi (cf figure 1). Plusieurs laboratoires de recherche et startups travaillent d'arrache-pied pour tenter d'imprimer des bâtiments en 3D, et ainsi repenser complètement notre façon de construire le futur. La pérennité de cette nouvelle technique passe bien entendu par la formation d'ouvriers qualifiés pluridisciplinaires, en commençant par exemple par initier les jeunes lycéens de première et terminales générales et technologiques.



Figure 1 : Bâtiment réalisé en impression 3D béton, source [4]

Cette ressource introduit la technique d'impression 3D appliquée à la construction, le principe et le contexte techniques sont présentés ainsi que les limites et améliorations, enfin une comparaison des méthodes de construction est proposée. La ressource « Façade végétalisée en béton d'impression 3D - Exploitation pédagogique en pré-bac STI2D AC » [32] s'appuie sur cette technique.

1 - Introduction à la fabrication additive

Traditionnellement, nous créons des pièces en utilisant des méthodes de fabrication soustractive : on part d'un gros bloc de matériau et on lui octroie la forme souhaitée en retirant de la matière petit à petit (à la main ou bien par des opérations d'usinage). On peut illustrer le principe en se représentant le travail d'un tourneur sur bois par exemple. Dans ce cas, on s'imagine aisément une grande quantité de matériau retiré sous forme de copeaux, considérés comme des déchets.

Mais serait-il possible de réaliser des pièces en utilisant uniquement la quantité de matériau dont on a besoin ? Eh bien oui ! Il est possible de fabriquer non pas en retirant de la matière là où il y en a trop mais en ajoutant de la matière là où il en manque : c'est la fabrication additive (l'extrusion en est une). En 1983, Charles W. Hull imagine une façon de la mettre en œuvre de telle sorte à obtenir une plus grande liberté de formes créées. Il sait que certains matériaux polymères liquides peuvent devenir solides une fois exposés à un rayonnement ultraviolet (UV) : ce sont des polymères photosensibles [5]. Il conçoit donc un système dans lequel un faisceau laser est orienté là où on souhaite solidifier du matériau (cf figure 2). En déplaçant habilement le laser, on construit la pièce voulue. La stéréolithographie est née ! Il s'agit de la première technique de Prototypage Rapide : rapide, répétable et précise.

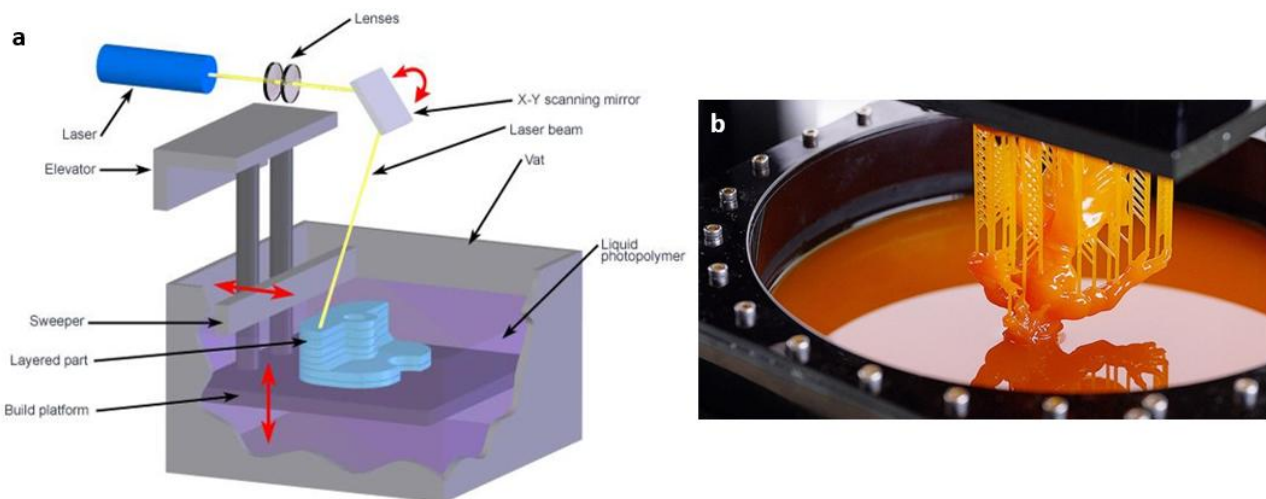


Figure 2 : a) Schéma du processus de fabrication d'une pièce par stéréolithographie, source [6], et b) Pièce imprimée en 3D par stéréolithographie, source [7]

Mais n'existe-t-il pas des matériaux qui soient liquides puis solides sans faire intervenir d'UV ? On peut jouer sur la température du matériau à déposer afin qu'il soit liquide au départ (en chauffant) puis qu'il devienne solide une fois déposé au bon endroit sur la pièce (en arrêtant de chauffer). Une fois tout le contour de la pièce réalisé, on monte de quelques dixièmes de millimètre et on recommence par-dessus la couche que l'on vient de terminer : c'est l'impression 3D. Cette technique permet de produire de façon automatisée des pièces de formes complexes à partir d'un modèle numérique 3D et en couche par couche [8] (cf figure 3).

Actuellement, on utilise des matériaux polymères ou bien métalliques (lorsqu'on a besoin d'une plus grande résistance) qui ont des températures de fusion plus élevées que la température ambiante mais atteignables en chauffant (cf figure 3). L'impression 3D (avec divers matériaux) est de nos jours couramment utilisée dans de nombreux domaines : mécanique, automobile, aérospatial, médical, militaire, textile, alimentation [8 et 9]. Pour plus de détails concernant les techniques usuelles d'impression 3D se reporter à la ressource « Impression 3D : présentation générale » [31].

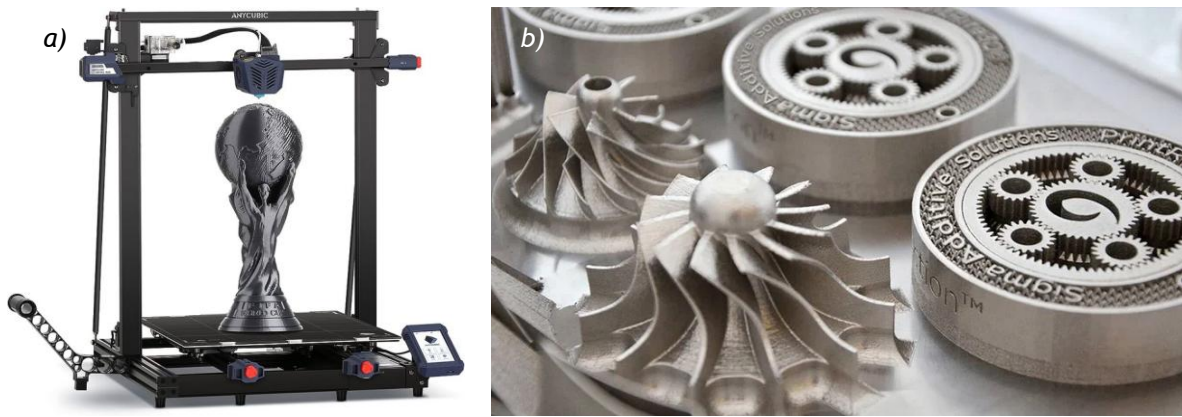


Figure 3 : a) Petite imprimante 3D en action, source [10],
b) Pièces métalliques imprimées en 3D, source [11]

2 - Application à la construction

2.1 - Généralités sur l'impression 3D en construction

Avec le succès de l'impression 3D dans les domaines mentionnés plus haut, certains se sont demandés s'il était possible de transposer cette technique pour construire des bâtiments. L'enjeu était double : adapter le processus aux matériaux de construction (au béton principalement) et adapter l'acte de construire à l'automatisation que la technique présuppose (les tentatives d'automatisation tentées jusqu'alors ayant obtenu un succès mitigé car les bâtiments sont souvent uniques, ou produits en très peu d'exemplaires [8]). Malgré tout, en 1997, Joseph Pegna (à ce moment-là chercheur au département d'ingénierie mécanique au Rensselaer Polytechnic Institute, New York) met en lumière une nouvelle façon d'appréhender la construction : il propose de restructurer l'opération de construction en un nombre réduit d'opérations élémentaires et introduit l'idée du couche-par-couche dans la construction avec du ciment Portland (le plus courant) [9]. Ceci constitue un des piliers de la 4^e révolution industrielle [12].

Il existe trois catégories d'impression 3D de bâtiments :

- La première est appelée D-Shape (cf figure 4). Une buse dépose des points de sable mélangé à certains adjuvants en poudre (tels que l'oxyde de magnésium MgO) sur le contour du bâtiment à fabriquer, puis le liant est déposé (souvent une solution de chlorure de magnésium $MgCl_2$). En réagissant avec le sable, le matériau se solidifie et forme une couche de 5 à 10 mm, qui sèche en 24h environ. Puis on réitère le processus pour réaliser la couche supérieure et ainsi de suite [13].



Figure 4 : Structure réalisée en D-shape, source [13]

- La deuxième technique est nommée Contour Crafting (CC). Des buses sont montées sur des bras robotisés qui parcourent une trajectoire précise pour former les contours du bâtiment (cf figure 5). Le matériau déposé peut être un polymère, de la pâte de céramique ou bien du mortier. Si on utilise un moule, il est en général perdu et devient une partie de l'objet

(pratique pour l'isolation des parois dans le cas des moules en polystyrène par exemple). La hauteur de couche est d'environ 20 mm (dépend du matériau utilisé) [9].

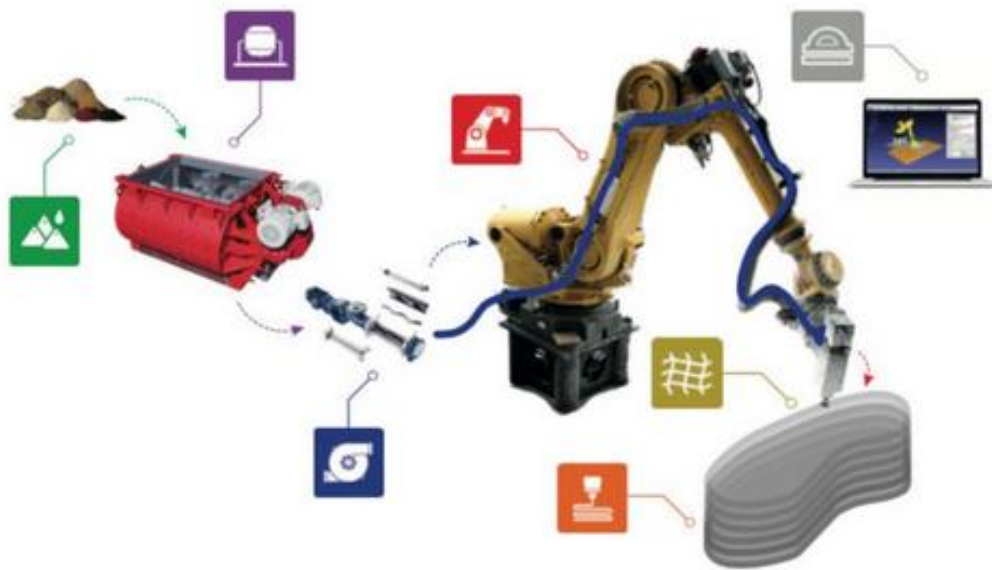


Figure 5 : Schéma de principe de construction en impression 3D, source [14]

- La troisième technique est en réalité un cas particulier du CC. Le 3D Concrete Printing (3DCP) est du CC mais dont le matériau déposé est du béton (ou micro-béton). C'est cette technique qui est la plus utilisée actuellement.

Grâce à l'impression 3D en béton, on dispose d'une grande liberté structurelle et architecturale : on peut réaliser des formes bien plus complexes qu'avec les techniques de construction traditionnelles. Il est possible de produire des éléments préfabriqués ou de construire directement sur site des éléments porteurs ou non. Ces éléments sont le plus souvent des murs, mais il est possible de faire des poutres, des dalles... À noter que le 3DCP n'est pas toujours la meilleure solution : fabriquer une dalle en béton armé traditionnel est bien plus efficace qu'en 3DCP.

On peut construire tout ou partie de villas de plain-pied ou avec quelques étages (pas d'Immeubles de Grande Hauteur pour le moment). L'impression 3D béton peut être pratique quand il s'agit de restauration de pièces historiques ou de situation présentant un danger (création de refuges en temps de guerre par exemple) [8].

Dans ses débuts, l'impression 3D béton a été utilisée pour créer du mobilier urbain ou des passerelles (cf figure 6 a et f). Un premier essai en préfabrication a eu lieu en 2014 avec la 3D Canal House à Amsterdam. Puis, c'est WinSun qui tente sa chance en Chine en proposant des murs sous forme de deux parois verticales décalées d'une dizaine de centimètres, entre lesquelles sont placées des zigzags en béton (plus solide qu'une paroi verticale simple) [5].

Le plus haut bâtiment du monde imprimé en 3D béton à ce jour est la tour de la Citadelle des Savoir-Faire située à Bruay-sur-Escaut (Hauts-de-France, cf figure 6 d). Culminant à 14 m de haut, il couvre une superficie de 500 m² sur 3 étages, et sa construction a coûté environ 8€/m². L'entreprise Constructions-3D a relevé ce défi en 225 heures grâce à son imprimante 3D grand format à environ 500 000€ [15]. Actuellement, la taille des bâtiments que l'on est capable de construire en impression 3D est limitée par celle des imprimantes utilisées. Ces dernières peuvent fonctionner 24 h / 24, sous la pluie et en cas de fortes chaleurs.



Figure 6 : Pièces réalisées en impression 3D béton : a) Mobilier urbain, source [16] ; b) The Bloom, source [17] ; c) Château en impression 3D dans le Minnesota (USA), source [3] ; d) Citadelle des Savoir-Faire à Bruay-sur-l'Escaut (France) construite en 2024, source [18] ; e) Apis Cor House réalisée en Russie en 2018-2019, source [19] ; f) Passerelle imprimée en 3D à Shanghai, source [20]

Les avantages du 3DCP par rapport aux modes constructifs traditionnels (maçonnerie et béton armé) sont nombreux. Tout d'abord, le 3DCP offre une grande liberté de formes imprimables par rapport aux coffrages du béton armé et à la maçonnerie, pour un coût total au m² et une durée de construction réduits (réduction de la durée de 50% à 70%) [8]. On dépend beaucoup moins des ressources humaines : il y a beaucoup moins d'ouvriers sur chantier, donc moins d'accidents et des économies sur le coût de la main d'œuvre de 50% à 80% [8]. On peut construire en modulaire, et ainsi mieux gérer la déconstruction en fin de vie [12]. Un des avantages clé est la réduction de la quantité de matériau utilisé : l'impact environnemental est moindre, grâce à une réduction des émissions de CO₂ d'environ 85%, de la consommation d'énergie d'environ 87% et des déchets de 30% à 60% [8 et 12]. Enfin, le 3DCP peut fonctionner 24h / 24 en théorie, et est très fortement lié à l'approche BIM (Building Information Modeling) [9].

Cette technique s'accompagne d'un lot d'inconvénients. En effet, elle supprime des emplois non qualifiés, et offre un nombre très réduit de postes qualifiés et pluridisciplinaires (il faudrait donc former les ouvriers spécifiquement : génie civil, hardware et software). Le matériau et le matériel ont (pour le moment) un coût assez élevé (voir paragraphe suivant), bien que celui associé à la main d'œuvre soit réduit [12]. La hauteur des bâtiments que l'on peut construire est limitée par la taille des imprimantes. La qualité du matériau doit être contrôlée régulièrement sur chantier, ce qui peut ne pas être évident. La difficulté à intégrer des armatures et le manque de norme freine quelque peu le développement de cette technique.

De nombreuses entreprises dans le monde développent le 3DCP : Winsun (Chine), Apis Cor (Russie), XtremE (Italie), Constructions-3D (France), WASP (Italie), ICON (USA)... L'entreprise Constructions-3D propose deux imprimantes : la MiniPrinter PRO à 108 000 € et la MaxiPrinter PRO à 549 000 €. WASP propose sa machine Crane à 160 000 €. À noter que les prix sont très éloignés les uns des autres car les tailles des imprimantes et les options varient fortement d'une entreprise à l'autre.

2.2 - Principe et contexte technique

2.2.1 - Matériel et étapes de la construction

Il peut exister plusieurs designs d'imprimantes comme on peut le voir en figure 7 : celle représentée sur le schéma a) est plus adaptée à des contours rectilignes (bien que des formes complexes en

courbe soient tout à fait possibles) tandis que celle en b) est plus adaptée à un contour circulaire. Certaines machines peuvent contenir une ou plusieurs buses [5].

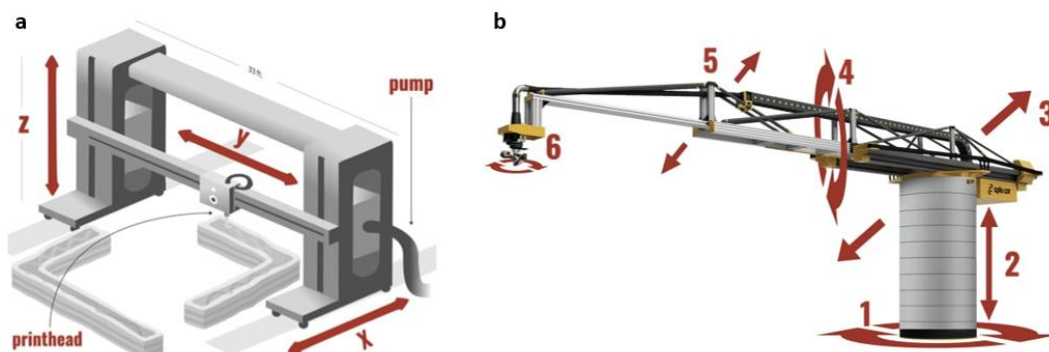


Figure 7 : Schémas a) d'une technologie de portique source [21] et b) d'une technologie de machine d'impression 3D pour la construction, source [22]

Les étapes de la construction en impression 3D sont synthétisées en figure 8 : en vert la partie projet (essentiellement numérique) et en marron ce qui se passe sur chantier.

Dans la phase projet (1^e phase), on commence par réaliser un modèle BIM du bâtiment à construire, exactement comme on le ferait avec un bâtiment classique (on ne dessine pas les couches de matériau) [5]. Puis, on transforme ce fichier en format STL : adapté à l'impression 3D, il réalise un maillage des surfaces du modèle. Ensuite, le bâtiment est découpé en couches par un logiciel adapté et le trajet de la buse est optimisé en fonction de critères variés.

Une fois le programme d'impression établi, on peut commencer les travaux (2^e phase). On terrasse et on construit les fondations (souvent des dalles de béton armé traditionnelles ou imprimées en 3D directement dans des tranchées [8]) puis on installe les équipements nécessaires à l'impression sur le site (imprimante, poste de commande...). Le matériau à l'état frais est créé à partir du mélange des matières premières choisies, puis est pompé dans les tuyaux de la machine pour arriver jusqu'à la buse (cf figure 5). L'impression peut commencer : le matériau à l'état frais sort par la buse et est déposé sur la trajectoire définie lors de la 1^e phase. La buse située à l'extrémité d'un bras robotisé se localise précisément sur le chantier, souvent grâce à un LIDAR [23]. En quelques minutes, cette première couche commence à prendre (développe une résistance en devenant solide) et on peut enchaîner avec la dépose d'une deuxième couche par-dessus, et ainsi de suite jusqu'à terminer la construction. Si on dispose de plusieurs buses ou plusieurs bras robotisés travaillant simultanément, il faut veiller à les coordonner et à délimiter des zones pour éviter les chocs entre les bras et les ouvriers présents sur le terrain (les bras bougent parfois très vite).

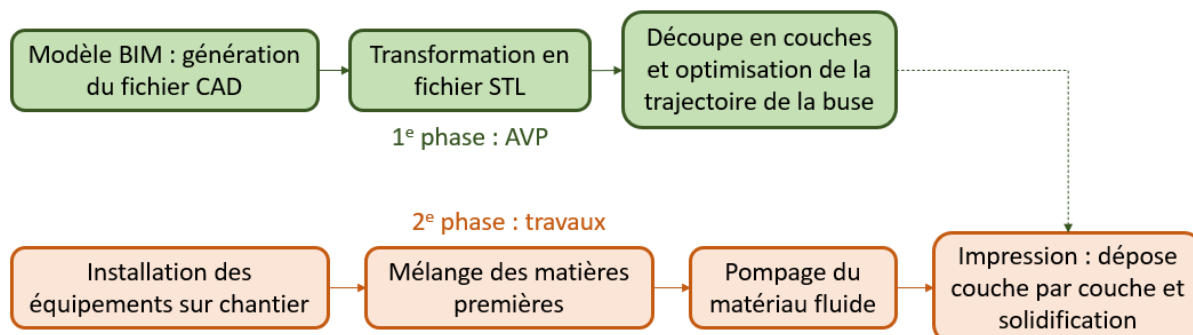


Figure 8 : Processus de construction en impression 3D à partir d'un modèle BIM, sources [8 et 9]

2.2.2 - Ordres de grandeur

Intéressons-nous à présent à quelques ordres de grandeurs. Plusieurs entreprises annoncent des durées différentes pour construire des bâtiments, car chacune utilise sa technologie et chaque

bâtiment a ses particularités. Néanmoins, on peut noter quelques cas particuliers : ICON propose de construire une série de maisons de 74 m² en 24h chacune afin de loger des familles dans le besoin au Salvador ; Apis Cor a imprimé en 3D un bâtiment de bureaux de 640 m² en 2 semaines (la durée totale des travaux en comptant le second oeuvre a été de 4 mois) ; HuaShang a imprimé une maison de deux étages en Chine en un mois et demi [8].

La vitesse de déplacement de la buse varie également en fonction de l'entreprise : elle peut aller de 200 mm/s pour la Crane WASP à 400 mm/s pour la MiniPrinter PRO de Constructions-3D. Attention ! La vitesse d'impression n'est pas toujours égale à la vitesse de déplacement de la buse la vitesse d'impression est calculée sur un bâtiment entier ou sur un élément entier, et peut donc prendre en compte des pauses, des variations de vitesse d'impression... La taille et la forme des buses peut aussi être très variable (circulaire ou rectangulaire par exemple). Le débit et la pression de pompage dépendent eux aussi de la machine utilisée : de 4 à 20 L/min à 40 bar pour la MaxiPrinter PRO, 35 bar pour la Crane WASP.

2.2.3 - Matériaux et essais

Il existe de nombreuses possibilités pour choisir le matériau de construction. Dans la plupart des cas, on utilise du micro-béton (cf figure 9a) : il s'agit d'un mortier de ciment (= ciment + granulats de moins de 2 mm + eau) avec des adjuvants (superplastifiant, accélérateur ou retardateur de prise par exemple) [12]. Il est cependant possible d'utiliser d'autres formulations : on peut substituer une partie du ciment par des SCM (Supplementary Cementitious Materials : cendres volantes, laitier de hauts fourneaux, fumée de silice, filler calcaire, métakaolin, déchets disponibles localement sur chantier) ; on peut décider de ne pas utiliser de ciment mais un autre liant comme de la terre par exemple (cf figure 9b). Pour améliorer les propriétés thermiques, mécaniques et de durabilité, on peut y incorporer des fibres (verre, carbone, polypropylène ou naturelles...). On notera qu'on utilise en général des granulats fins (de moins de 2 mm) pour éviter un mauvais écoulement dans les tuyaux et des surfaces rugueuses lors de l'impression.

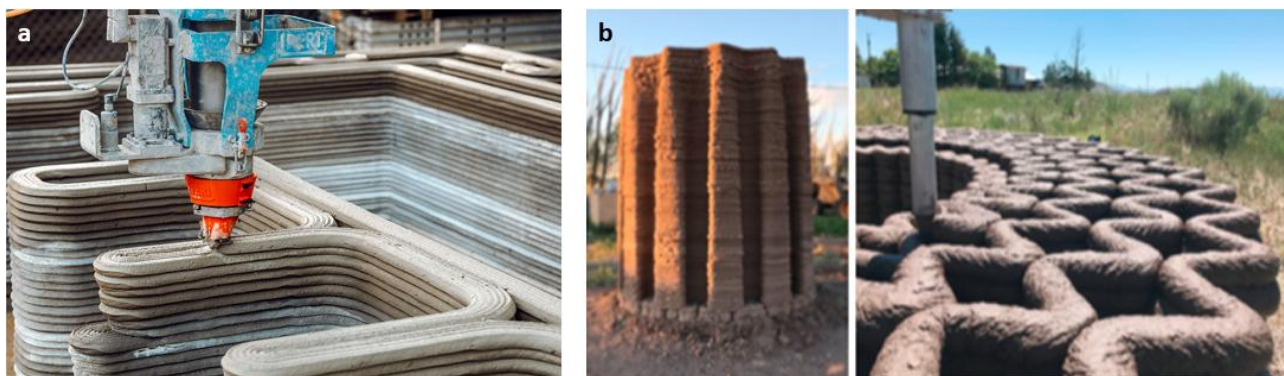


Figure 9 : a) Buse déposant du béton lors d'une impression 3D de bâtiment, source [24] et b) The Beacon, construction en impression 3D réalisée en terre crue, source [25]

Pour s'assurer que le matériau utilisé soit compatible avec l'impression 3D, il faut réaliser une série de tests (en usine ou sur chantier) [8]. On doit bien évidemment vérifier que les paramètres d'impression sont corrects (taille et vitesse de déplacement de la buse, pression et débit de pompage). On distingue deux catégories d'essais de matériau : ceux pour les propriétés qui ont un impact « avant et pendant impression » et ceux à impact « après impression » (cf tableau 1). Notons que la plupart des essais à effectuer sont les mêmes que les essais normalisés sur mortier : il n'existe donc pas d'essais normalisés propres à l'impression 3D, et certaines propriétés ne disposent pas d'essais normalisés du tout !

Avant et pendant l'impression	
Extrudabilité	Capacité du matériau frais à transiter en continu dans les tuyaux sans variation de ses propriétés physico-chimiques. Mesuré directement sur une buse.
Ouvrabilité	Capacité du matériau frais à passer sans encombre dans les tuyaux et la buse et à se déposer correctement. Mesuré par l'indice d'ouvrabilité (table à secousse).
Constructibilité	Capacité du matériau frais à supporter le poids des couches suivantes sans trop se déformer / s'affaisser. Mesuré par l'indice de constructibilité.
Temps de prise	Doit être assez long pour que le matériau ne prenne pas dans les tuyaux, mais assez court pour pouvoir empiler des couches. Dépend de la taille globale de la pièce et du temps entre deux couches.
Résistance mécanique	Résistance en compression rapide (pour pouvoir accueillir la couche suivante sans perdre de temps).

Après l'impression	
Résistance mécanique	Résistance en compression, traction, flexion, cisaillement au minimum à l'échelle du matériau et de la structure (attention à l'anisotropie !).
Retrait	Apparition de fissures qui affectent les capacités mécaniques des couches de matériau et des interfaces entre les couches.
Affaissement	Déformation et affaissement dans le temps des couches de matériau à cause du poids de l'ensemble. Mesures sur prototype ou sur chantier.
Propriétés thermiques	Résistance thermique, inertie thermique... Très peu étudié en pratique
Durabilité	Résistance aux attaques de chlorures / CO ₂ , au gel / dégel, au feu, vieillissement... Très peu étudié en pratique.

Tableau 1 : Propriétés matériau à vérifier avant de valider une formulation d'impression 3D ou de lancer une impression, sources [8, 9 et 12]

2.2.4 - 3DCP armé

Les armatures sont un vaste enjeu de l'impression 3D de bâtiments. En effet, il n'est pas aisé d'intégrer le placement des armatures métalliques dans le processus d'impression 3D sans diminuer l'efficacité de la fabrication additive ni la liberté architecturale. Pour cela, plusieurs solutions existent. Tout d'abord, on peut incorporer des fibres (naturelles ou artificielles, parfois composites) dans le matériau de construction, afin de reprendre une partie des contraintes de traction (même si cela reste moins efficace que des armatures métalliques).

Si on tient à garder des armatures, on peut choisir un des cas présentés en figure 10 : intégrer les armatures une fois que les couches de matériau ont été déposées (parallèlement, perpendiculairement ou en diagonale de la direction d'impression), ou bien placer une cage d'armatures sur laquelle on imprime le matériau [26].

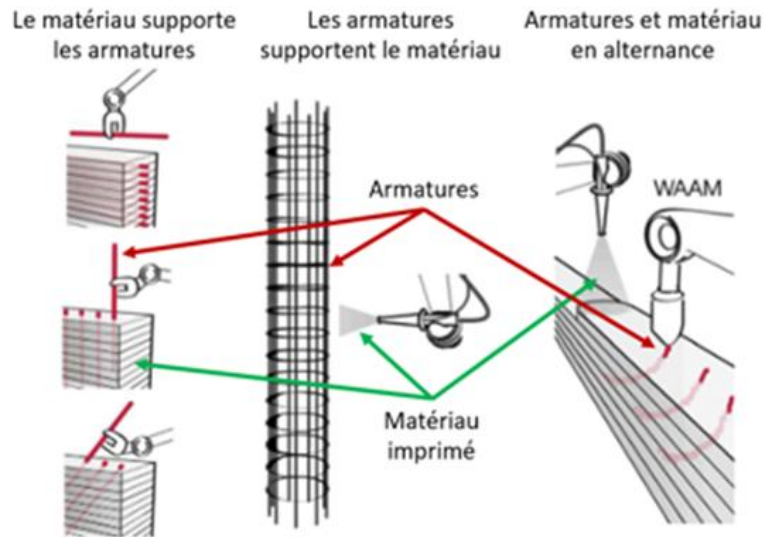


Figure 10 : Différentes possibilités d'intégration des armatures à une construction en impression 3D béton, à partir de la source [26]

2.2.5 - Cadre normatif

Un dernier point important : il n'existe qu'une seule norme européenne qui impose un cadre à l'impression 3D de bâtiment, la NF EN ISO/ASTM 52 939 [27]. Néanmoins, elle considère un matériau de construction homogène, ce qui n'est absolument pas le cas en 3DCP (il est en réalité anisotrope à cause des couches et des interfaces, et est plus résistant dans la direction de l'impression). Ainsi, il existe un manque de protocoles normatifs pour vérifier certains paramètres et pouvoir élaborer de nouvelles formulations en toute sécurité [9].

2.3 - Le futur de l'impression 3D béton : limites et améliorations

Nous l'avons bien compris, la technique d'impression 3D pour construire des bâtiments est en plein développement, et elle n'est pas infaillible ! Malgré tous les efforts des chercheurs et ingénieurs, il existe des risques. Concernant la construction, certains sites ne sont pas forcément adaptés à l'impression 3D.

Les défis à court ou moyen terme à relever, outre réduire les risques mentionnés ci-avant, sont nombreux. Ils vont de l'adaptation de la technique aux constructeurs à la production de normes complètes et efficaces, en passant par la formation des ouvriers au hardwares / softwares, la création et l'optimisation des matériaux utilisés (propriétés à l'état frais, durci et de durabilité) et l'amélioration des équipements et logiciels. Un autre défi conséquent est la meilleure intégration des armatures pour former du béton armé [12].

Mais quel futur imagine-t-on pour l'impression 3D de bâtiments ? Tout d'abord, elle devrait devenir plus accessible à moyen et long terme, autant grâce à la réduction du coût des machines que des matériaux (si on utilise des matières premières locales) [12]. On s'intéressera à des matériaux dont une partie est un déchet ou du sol excavé localement (pour réduire l'impact environnemental et le coût notamment) [8]. Enfin, des chercheurs de la NASA et l'entreprise ICON voient l'impression 3D comme un moyen potentiel de construire des bases pour astronautes sur la Lune ou sur Mars (cf figure 11) ! Seule l'imprimante 3D serait transportée, cela éviterait de devoir embarquer dans la fusée du béton (qui serait fabriqué avec les ressources lunaires ou martiennes) [5].

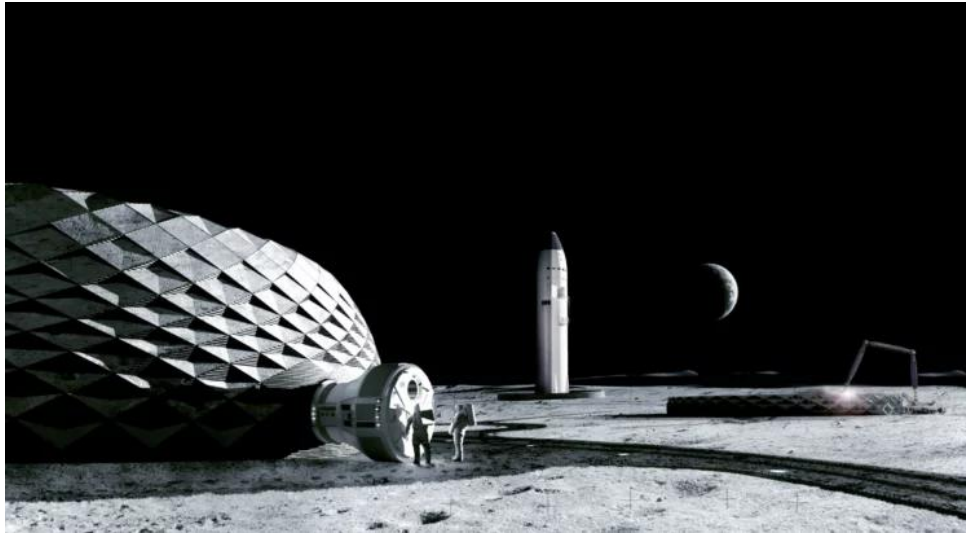


Figure 11 : Vue d'artiste des futurs bâtiments construits sur la Lune par ICON, source [28]

3 - Comparaison des méthodes de construction

Il n'est pas aisé de comparer les différentes techniques de construction, et ce pour plusieurs raisons : chaque bâtiment est unique et la technique de construction choisie sera adaptée à ses particularités ; les valeurs critères de comparaison varient énormément en fonction du constructeur, du fournisseur, de la géographie, des matériaux, du temps...

Néanmoins, nous pouvons comparer des cas particuliers. Dans ce premier exemple, V. Vanek et al. [29] ont comparé la résistance en flexion et traction de plusieurs murs en 3DCP avec celle d'un mur réalisé en maçonnerie avec des briques. Leurs résultats montrent que, à l'échelle d'un mur de 1.05 m de haut, la résistance en flexion d'un mur en 3DCP sans armature est d'environ 0.24 MPa. La résistance en traction due à la flexion dans ce cas est d'environ 0.16 MPa, ce qui est un peu inférieur à celle trouvée pour un mur en briques, aux alentours de 0.36 MPa. Malgré tout, les ordres de grandeur restent similaires.

Dans cet autre exemple, M. Mohammad et al. [30] ont comparé les émissions de CO₂ (Global Warming Potential GWP) et la consommation d'énergie primaire pour la construction d'un mur de quatre façons différentes : en maçonnerie (S1), en 3DCP avec armatures (S2), en 3DCP sans armatures avec béton haute performance (S3) et en 3DCP sans armatures avec béton léger (S4). Les résultats sont synthétisés en tableau 2. On remarque que le 3DCP sans armatures émet moins de CO₂ et consomme moins d'énergie primaire que la construction en maçonnerie, ce qui confirme l'intérêt concernant l'impact environnemental. Cependant, si on ajoute des armatures au 3DCP, on perd cet avantage : le GWP augmente de 27% par rapport à la maçonnerie. On note également que l'utilisation de béton léger ou haute performance influence assez peu les valeurs de GWP et de consommation d'énergie primaire (on est bien loin du S2). Il faut être prudent avec ces chiffres : on est loin de la réduction du GWP de 85% annoncée par [12], mais on ne compare pas exactement la même construction dans les mêmes conditions !

Scénario	S1 : maçonnerie et poteaux/poutres armés	S2 : 3DCP avec armatures	S3 : 3DCP sans armature avec béton haute performance	S4 : 3DCP sans armature avec béton léger
GWP [kgCO _{2eq} /m ²]	58.89	75.08	46.12	44.42
Energie primaire [MJ/m ²]	36.51	37.17	21.33	19.78

Tableau 2 : Synthèse des résultats de l'étude ACV comparative menée par M. Mohammad et al., source [30]

4 - Conclusion

Finalement, l'impression 3D de bâtiments est une technique certes encore en développement, mais qui promet de changer notre façon de construire dans l'avenir. Prometteuse, elle offre un très grand nombre d'avantages qui intègrent les enjeux du développement durable, malgré quelques inconvénients. On espère une diminution du coût total de la méthode avec le temps et, pourquoi pas un jour, toucher du doigt le rêve lunaire et martien grâce à de nouvelles avancées dans le domaine.

Il pourrait donc être fort intéressant d'introduire cette technique aux lycéens ayant un attrait pour les Sciences pour l'Ingénieur, par exemple en classes générales spécialité SI ou bien des classes de STI2D enseignement spécifique AC. Comme il peut être ardu de placer une telle thématique dans une progression pédagogique, je propose quelques idées d'intégration dans une séquence de « Matériaux de Construction » en STI2D AC dans la ressource « Façade végétalisée en béton d'impression 3D - Exploitation pédagogique en pré-bac STI2D AC » [32], le but étant non pas de faire le tour des subtilités mais de faire sentir aux élèves avec leurs mains les enjeux et défis de cette technique.

Références :

- [1]: Chiffre de l'ADEME 2021, BPI France, « Empreinte carbone du bâtiment et des travaux publics (BTP) en France », avril 2024, <https://bigmedia.bpifrance.fr/nos-dossiers/empreinte-carbone-du-batiment-et-des-travaux-publics-btp-en-france>
- [2]: KANAGARAJ, B., ANAND, N., SAMUVEL RAJ, R. et LUBLOY, E., 2023, "Techno-socio-economic aspects of Portland cement, Geopolymer, and Limestone Calcined Clay Cement (LC3) composite systems: A-State-of-Art-Review", Construction and Building Materials
- [3]: ADEME, « Bâtiments », <https://www.ademe.fr/les-defis-de-la-transition/batiments/>
- [4]: ADEME, « Impression 3D de bâtiments : plus haut, plus vite, plus vert ? », septembre 2024, <https://infos.ademe.fr/batiments/2024/impression-3d-de-batiments-plus-haut-plus-vite-plus-vert/>
- [5]: I. Hager et al., "3D Printing of Buildings and Building Components as the Future of Sustainable Construction?", Procedia Engineering, 2016
- [6]: 3D Industries, « La stéréolithographie : la technologie d'impression 3D de précision sur 3D Industries », <https://www.3dindustries.fr/imprimantes-3d-professionnelles/par-technologie/stereolithographie/>
- [7]: 3D Natives, « L'impression 3D par Stéréolithographie, on vous explique tout ! », juillet 2020, <https://www.3dnatives.com/limpression-3d-par-stereolithographie-on-vous-explique-tout/>
- [8]: Md. A. Hossain et al., "A review of 3D printing in construction and its impact on the labor market", Sustainability, octobre 2020
- [9]: Y. Tarhan et R. Sahin, "Developments of 3D concrete printing process", International Civil Engineering and Architecture Conference, avril 2019
- [10]: Le Labo Toner, « Guide pour imprimante 3D : Comparatif 2023 », septembre 2023, <https://labo.toner.fr/le-saviez-vous/comment-choisir-son-imprimante-3d-comparative-2023/>
- [11]: 3D Natives, « A la découverte des matériaux d'impression 3D : les métaux », juillet 2023, <https://www.3dnatives.com/a-la-decouverte-des-materiaux-dimpression-3d-deuxieme-partie-les-metaux/>
- [12]: R. Robayo-Salazar et al., "3D printing with cementitious materials: challenges and opportunities for the construction sector", décembre 2022, Automation in Construction

- [13]: Wikipédia, « D-Shape », <https://fr.wikipedia.org/wiki/D-Shape>
- [14]: Sujet de concours CPGE PSI, concours X ENS, session 2023, UPSTI, <https://www.upsti.fr/espace-etudiants/annales-de-concours/topics/s2i-systeme-d-impression-3d-de-structure-en-beton>
- [15]: Vidéo Youtube, « Le plus haut bâtiment du monde imprimé en 3D dans les Hauts-de-France », France 3 Hauts-de-France, <https://www.youtube.com/watch?v=gZfzT3gvYdQ>
- [16]: Jansen Industry, <https://jansenindustrie.com/en/3d-printed-concrete/>
- [17]: Emerging Objects, <https://emergingobjects.com/project/bloom-2/>
- [18]: AC Presse, « VIDEO-Citadelle des Savoir-Faire : Comme une impression de jamais vu », A. Le Brun, avril 2024
- [19]: M. Sakin et Y. C. Kiroglu, “3D Printing of Buildings: Construction of the Sustainable Houses of the Future by BIM”, 9th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings, Juillet 2017
- [20]: ArchDaily, “World's Largest 3D-Printed Concrete Pedestrian Bridge Completed in China“, 2019
- [21]: ICON, 3Dnatives, « Comment fonctionne une imprimante 3D béton ? », janvier 2021, <https://www.3dnatives.com/imprimante-3d-beton-26012021/#!>
- [22]: Apis Cor, 3Dnatives, « Comment fonctionne une imprimante 3D béton ? », janvier 2021, <https://www.3dnatives.com/imprimante-3d-beton-26012021/#!>
- [23]: D. Kajzr et al., “An open PLC-based robot control system for 3D Concrete Printing”, Juillet 2023, Robotics
- [24]: Neozone, « Une maison à deux étages imprimée en 3D qui associe un mélange de bois et de béton », 2022, <https://www.neozone.org/innovation/une-maison-a-deux-etages-imprimee-en-3d-qui-associe-un-melange-de-bois-et-de-beton/>
- [25]: G. H. Ahmed, “A review of “3D concrete printing”: Materials and process characterization, economic considerations and environmental sustainability”, Journal of Building Engineering, janvier 2023
- [26]: H. Kloft et al., “Reinforcement strategies for 3D concrete printing”, août 2020, Ernst & Sohn
- [27] : NF EN ISO/ASTM 52939, « Fabrication additive pour la construction - Principes de qualification - Éléments de structure et d'infrastructure », décembre 2023, AFNOR
- [28]: Science & vie, « En 2040, cette imprimante 3D permettra de construire des maisons sur la Lune », F. Auclert, octobre 2023
- [29]: V. Valek et al., « Experimental testing of 3DCP reinforcement wall segments”, Young Scientist, 2023
- [30]: M. Mohammad et al., “3D Concrete Printing Sustainability: A Comparative Life Cycle Assessment of Four Construction Method Scenarios”, Buildings, décembre 2020
- [31]: Impression 3D : présentation générale, B. Anglade, D. Comberton, décembre 2018, https://sti.eduscol.education.fr/si-ens-paris-saclay/ressources_pedagogiques/impression-3d-presentation-generale
- [32]: Façade végétalisée en béton impression 3D - Exploitation, pédagogique en pré-bac STI2D AC, E. Celecshi, C. Desodt, H. Horsin Molinaro, 2026, https://sti.eduscol.education.fr/si-ens-paris-saclay/ressources_pedagogiques/facade-vegetalisees-en-beton-impression-3d-exploitation-pedagogique