



Dans l'atelier du fabricant MX3D, à Amsterdam (Pays-Bas). Le procédé d'impression de l'acier est celui de la fabrication additive par dépôt de fils au moyen d'un arc électrique.- © OLIVIER DE GRUIJTER / MX3D

L'impression 3D fait son tour du monde

Emmanuelle Picaud | le 14/01/2022 | [Ouvrage d'art](#), [Impression3D](#), [Passerelle](#), [Acier](#), [Béton](#)

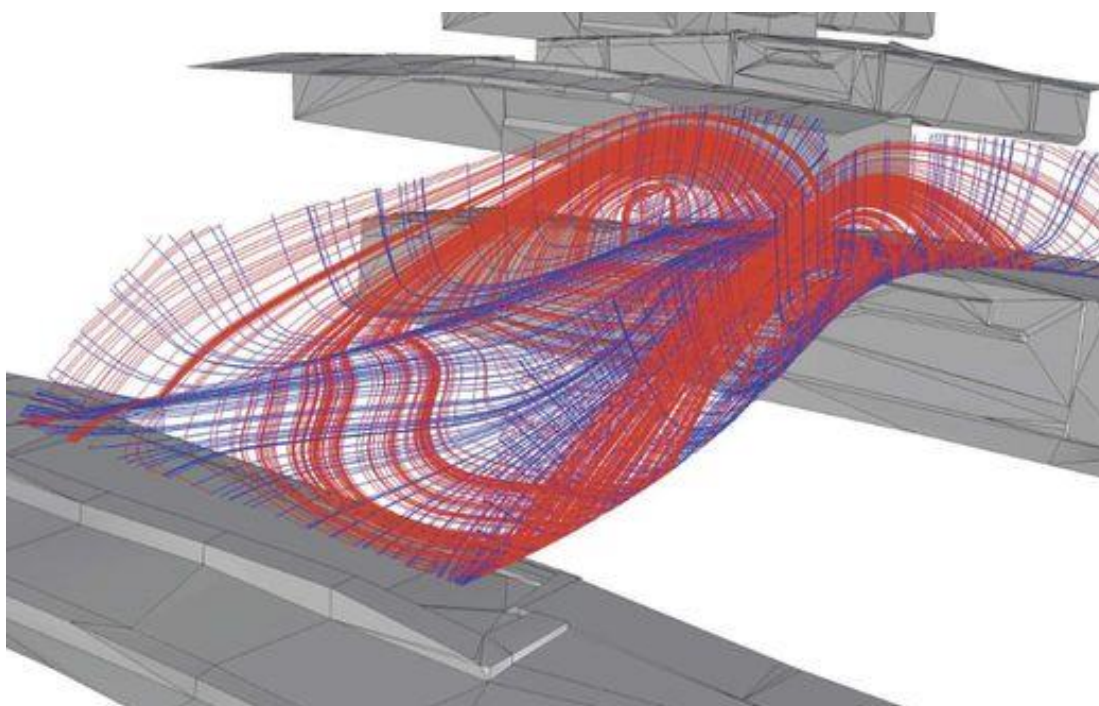
Ouvrages d'art - Béton, métal, polymères... En Europe comme en Asie, les professionnels expérimentent divers matériaux pour réaliser des passerelles aux formes inédites.

Après les poteaux et les maisons imprimés en 3D, les industriels du monde entier s'essayaient désormais à l'impression d'ouvrages d'art. Depuis la construction en 2016 de la première passerelle à Alcobendas, au nord de Madrid (Espagne), les réalisations fleurissent un peu partout, même si, pour l'heure, cette méthode constructive n'est employée qu'à une petite échelle. « Les fabricants inaugurent surtout des passerelles destinées aux piétons ou aux cyclistes. Leur démarche reste expérimentale, avec l'objectif de démontrer la faisabilité de ces techniques », analyse Romain Mesnil, chef de projet au sein du Co-innovation Lab de l'Ecole nationale des ponts et chaussées. Qui plus est, en Europe, les constructeurs restent contraints par les Eurocodes, qui réduisent les possibilités d'imprimer des matériaux aux caractéristiques structurelles.



L'ouvrage installé dans le centre-ville d'Amsterdam mesure 12 m de long et 6,3 m de large, ce qui représente un total de 4,5 t d'acier imprimé en 3D. - © ADRIAAN DE GROOT / MX3D

Une passerelle en béton longue de 40 m. Ces limites n'empêchent toutefois pas les entreprises de se lancer dans des projets ambitieux. A Aubervilliers (Seine-Saint-Denis), un groupement désigné par l'établissement public territorial Plaine Commune envisage ainsi d'imprimer une passerelle en béton longue de 40 m. « Jusqu'à présent, ce type d'ouvrage ne dépassait pas la vingtaine de mètres », rappelle Alban Mallet, fondateur de l'entreprise française d'impression 3D XtreeE, partenaire de cette initiative. Contrairement au précédent espagnol, l'usage du béton ne se limitera pas ici à de l'habillage, et le matériau jouera pleinement son rôle structurel.



La simulation numérique des efforts supportés par le pont a permis de déterminer sa géométrie. - © JORIS LAARMAN LAB

Ce choix relève d'un parti pris volontariste du maître d'ouvrage. Mais sur d'autres projets, des matériaux différents font preuve d'une véritable adéquation avec l'impression 3D. C'est le cas en Asie notamment, où, à contre-courant du modèle français, les industriels s'essaient à l'impression de ponts en plastique. Après un premier prototype à Shanghai (Chine) en 2019, l'entreprise Polymaker a livré son troisième exemplaire en septembre 2021, à Chengdu. Pour Romain Mesnil, les dérivés pétroliers présentent des atouts certains : « Contrairement au béton armé, le plastique ne rouille pas. De plus, s'ils ne sont pas mélangés à d'autres matériaux, les thermoplastiques sont facilement recyclables. » Plus près de nous, une équipe néerlandaise vient d'inaugurer le premier pont imprimé en 3D avec de l'acier, à Amsterdam. Il aura fallu six mois pour réaliser cet ouvrage temporaire, qui remplace l'ancien franchissement en cours de restauration.

Au niveau international, aucune solution n'a pris le pas sur une autre, ce qui laisse toutes les portes ouvertes. Alban Mallet, enthousiaste, espère une forte progression de la filière. « Peu importe le matériau, demain nous pourrions peut-être imprimer non seulement des ponts, mais aussi des routes ou des tunnels, anticipe-t-il. Nous les fabriquerons sur mesure en fonction des besoins des maîtres d'ouvrage. »

Acier - Des couches de métal sur un canal néerlandais

En juillet 2021, la ville d'Amsterdam (Pays-Bas) accueillait un pont unique en son genre. Issu d'une collaboration entre l'agence de design néerlandaise Joris Laarman Lab, le fabricant MX3D, le fournisseur de logiciels Autodesk, le bureau d'études Arup et l'aciériste ArcelorMittal, cet ouvrage préfabriqué de 12 m de long pour 6,3 m de large est constitué de 4,5 t d'acier imprimé. Pour parvenir à ce résultat, les ingénieurs ont recouru au procédé de fabrication additive par dépôt de fil métallique au moyen d'un arc électrique, ou Wire and Arc Additive Manufacturing (Waam). Similaire à la soudure traditionnelle, il consiste à déposer des couches de métal successives à l'aide d'un bras robotisé articulé. Seulement six mois ont été nécessaires à l'impression en usine de ce prototype. « Nous avons mené des recherches sur les propriétés du matériau en amont et révisé nos règles de calcul, car l'acier imprimé se comporte différemment de l'acier ordinaire », raconte Stijn Joosten, ingénieur chez Arup. Farid Vahdati, professeur auxiliaire à l'université de Twente (Pays-Bas), complète : « Le principal défi de l'impression 3D de l'acier consiste à limiter les déformations et les tensions du matériau, des phénomènes générés par la chaleur émise lors de l'impression du métal. » Une fois mis en œuvre, l'ouvrage a été bardé de capteurs qui assurent sa surveillance pendant deux ans. Au-delà, il sera démonté pour laisser la place à l'ouvrage en maintenance qu'il remplace temporairement.

Béton - La France relève le défi de la structure

A l'occasion des JO de 2024, une passerelle en béton imprimée en 3D verra le jour à Aubervilliers (Seine-Saint-Denis). Destinée aux piétons, elle mesurera 40 m de long et permettra de franchir le canal Saint-Denis. Cette solution, une première pour la France, a été choisie dans le cadre d'un partenariat d'innovation en conception-réalisation qui regroupe Freyssinet, XtreeE, Lavigne & Chéron Architectes, Quadric et LafargeHolcim.

Le groupement prévoit d'imprimer différents éléments en 3D : le tablier, les piles et les escaliers d'accès de l'ouvrage. Pour les piles et les escaliers, les parties imprimées devraient servir de coffrage perdu. En revanche, les voussoirs du tablier seront fabriqués en BFUP imprimé et coulé. « L'objectif n'est pas d'obtenir une esthétique irréprochable, mais bien de réaliser des éléments structuraux. Tout est donc nouveau : le choix du ciment d'une part, mais également l'ajustement des critères d'impression (rhéologie, épaisseur...) aux phénomènes de retrait du béton afin d'obtenir la géométrie souhaitée, garante de la résistance mécanique de la passerelle », explique Thomas Lavigne, l'architecte en charge de la conception de l'ouvrage. Pour l'heure, le projet en est au stade des essais sur la formulation et l'impression du béton. Ses porteurs attendent encore l'autorisation d'exécution des travaux, dont la délivrance est attendue pour ce début d'année. « Grâce aux bons résultats obtenus jusqu'ici, nous sommes confiants », assure Thomas Lavigne.



Différents éléments de la passerelle d'Aubervilliers seront imprimés en béton : le tablier, les piles et les escaliers d'accès. - © THOMAS LA VIGNE / ARCHITECTE

Plastique - La Chine voit triple

Il y a trois ans, l'industriel Polymaker imprimait son premier pont en plastique dans le parc Taopu à Shanghai (Chine), la ville où se trouve son siège social. Depuis, deux autres ponts du même type ont été inaugurés par l'entreprise dans le pays : l'un à Quanzhou (Baiqi Lake, en mai 2019) et l'autre à Chengdu (Yimahe Park, en septembre 2021). Les ouvrages, qui mesurent entre 15 et 22 m de long, ont été imprimés en acrylonitrile styrène acrylate, un thermoplastique connu pour sa résistance aux intempéries et aux produits chimiques, mais aussi aux variations thermiques. Le matériau a été enrichi en fibres de verre afin de renforcer sa résistance et de limiter les éventuelles déformations au moment de la confection. Afin de garantir une bonne qualité d'impression, celle-ci a été réalisée dans une pièce isolée thermiquement et chauffée à 38 °C.



A Chengdu, un pont piéton en plastique de 22 m de long a été imprimé en septembre 2021. - - © PHOTOS : POLYMAKER / SCG



Le matériau est un thermoplastique mélangé à des fibres de verre afin de renforcer sa résistance et de limiter d'éventuelles déformations. - © PHOTOS : POLYMAKER / SCG

Pour permettre au polymère de se détendre sans se déformer, des couvertures chauffantes ont été placées au-dessus des parties imprimées en vue de ralentir leur refroidissement. L'industriel a besoin de trente à trente-cinq jours pour imprimer un ouvrage, sachant que le bras d'impression peut extruder jusqu'à 8 kg de plastique par heure, avec une précision de 0,1 mm. « A l'heure actuelle, nos ponts sont opérationnels et en bonne condition.

En raison de la nouveauté du procédé de construction, il est difficile d'estimer précisément leur durée de vie, mais sur la base de nos données de conception, celle-ci devrait être comprise entre dix et trente ans », a expliqué l'entreprise au « Moniteur ».



L'impression 3D est réalisée par couches successives, dans une pièce isolée thermiquement et chauffée à 38 °C. - © PHOTOS : POLYMAKER / SCG

