



Construction digitale en béton – une (r)évolution ?

14^{ème} journée d'information Holcim

EPFL – 27 septembre 2017

Impression 3D en béton : quels défis techniques et commerciaux ?

Vivien Esnault – Chef de projet Impression 3D,

François de Larrard – Directeur Scientifique

LCR – LafargeHolcim R&D Center, Lyon, France



LafargeHolcim

-
- La recherche-développement LafargeHolcim
 - Petit état-de-l'art de l'impression 3D en béton
 - La vision et la stratégie de LafargeHolcim sur l'impression 3D



LafargeHolcim

Les missions de la R&D LafargeHolcim



- **Créer de la valeur** sur nos segments de marché par des solutions constructives innovantes
 - Au service des ambitions des pays et en réponse aux besoins du marché



- **Rester à l'avant-garde** en anticipant sur les tendances et en valorisant les nouvelles technologies
 - Pour assurer l'alimentation et la bonne orientation du portefeuille Innovation du Groupe



- **Etre un partenaire réactif** capable d'apporter l'expertise dans les opérations, en complément des ressources locales
 - En transférant les solutions innovantes et en développant les compétences des équipes
 - En soutien des projets opérationnels les plus exigeants en termes d'expertise

La R&D de LafargeHolcim



190 employés



15
nationalités



60%
d'ingénieurs docteurs



280
brevets

Un laboratoire central en France

Un réseau de laboratoires de développement de la construction (CDL)



Un laboratoire central



Des CDL proches des marchés locaux visant à développer les opportunités d'affaires à travers:

- Une orientation forte vers l'application des produits et le développement de systèmes constructifs
- Une compréhension profonde des clients et des modes constructifs locaux

-
- La recherche-développement LafargeHolcim
 - Petit état-de-l'art de l'impression 3D en béton
 - La vision et la stratégie de LafargeHolcim sur l'impression 3D



LafargeHolcim

Impression 3D de béton

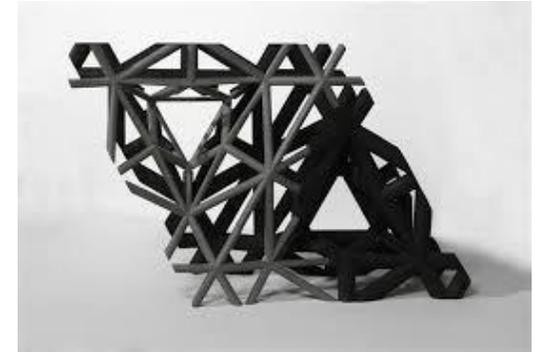
Impression 3D de « béton »



Procédé par extrusion



Impression 3D de support



Impression 3D de coffrages

Voxeljet + EZCT Architecture



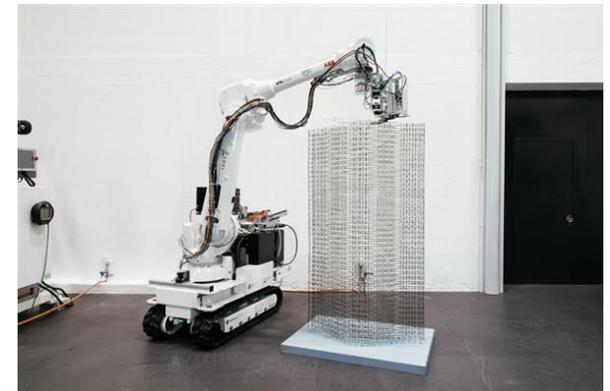
Procédé « en lit de poudre »

DShape



Technologies hybrides

YHNOVA
XtreeE



Impression 3D de treillis 3D

ETH Zurich

Imprimer la structure ou le coffrage ?

- Impression 3D de béton
- Impression 3D de supports



Impression 3D et construction : les pionniers

DUS Architecture (Canal House project)

- Impression 3D plastique
- Ouvre la voie sur l'esthétique et le non structurel



Koshnevis et al. (Berkeley)

- Les premiers à travailler sur le béton dans les années 1990.
- Construction “sur site”
- Pas d’industrialisation



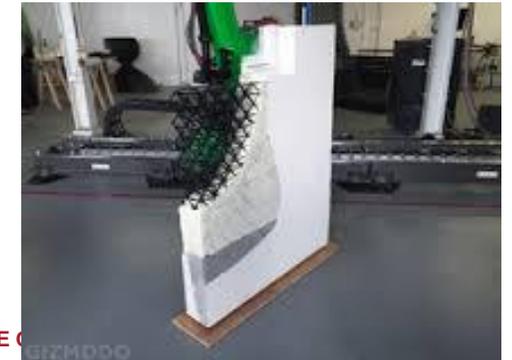
Winsun

- Première industrialisation (modèle “préfa”)
- Impact médiatique énorme auprès du grand public



Impression 3D et construction : un champ en expansion

- Nombreux travaux universitaires
 - ETH Zurich, Universités de Loughborough (UK) et Singapour
- Premières initiatives commerciales
 - XTreeE, CyBe, Total Kustom, D-Shape, WASP...
- Initiatives publiques de grande ampleur
 - Emirats (UAE), Singapour...
 - Egalement en France et en Europe



Quels apports possibles par rapport aux techniques traditionnelles (maçonnerie, béton coulé en place ou préfabriqué)

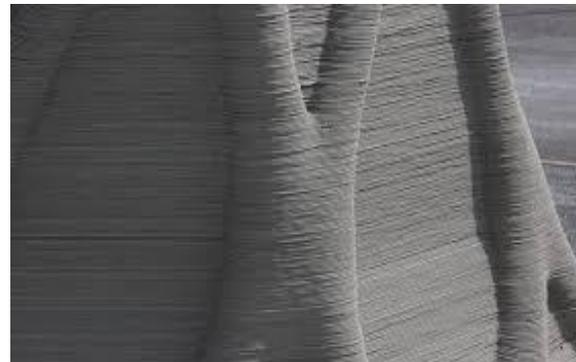
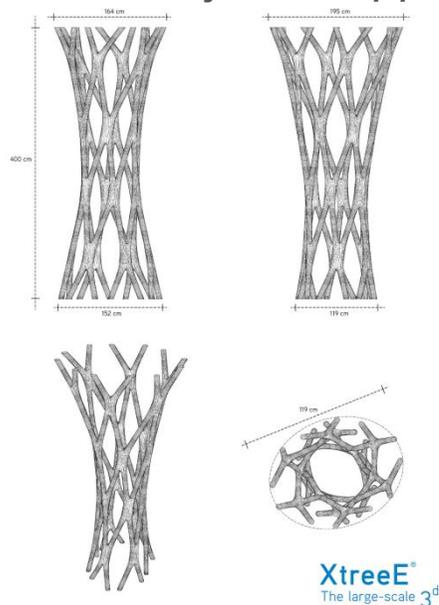
- **Construire de façon automatisée et sans coffrage**
- **Complexité formelle, valeur ajoutée esthétique**
 - Forme complexe et **impact visuel**
 - Volumes faibles, mais **rôle pionnier** fondamental
- **Préfabrication numérisée, agile et fonctionnelle**
 - Des pièces complexes... pour répondre à un **besoin industriel**
 - Cible sur les **pays dits « matures »**
- **Construction de logements individuels de masse**
 - Construire une maison de 50 - 100 m², **en 3 jours**
 - Une solution pour les « BRICS » ou pour les pays matures ?



Projet YHNOVA, Nantes

Exemples (esthétique) : le poteau Krypton (XtreeE)

- Enveloppe imprimé 3D, cœur structural en béton « BFUP »
- Illustre:
 - L'impact visuel de ce type de réalisation
 - Les enjeux d'apprentissage



Exemples (esthétique) : FreeFab Wax (Laing O'Rourke)

- Moules/supports en cire
- Excellente recyclabilité
- Projet pilote à Londres (« Crossrail »)

FreeFAB™
wax



© FreeFAB

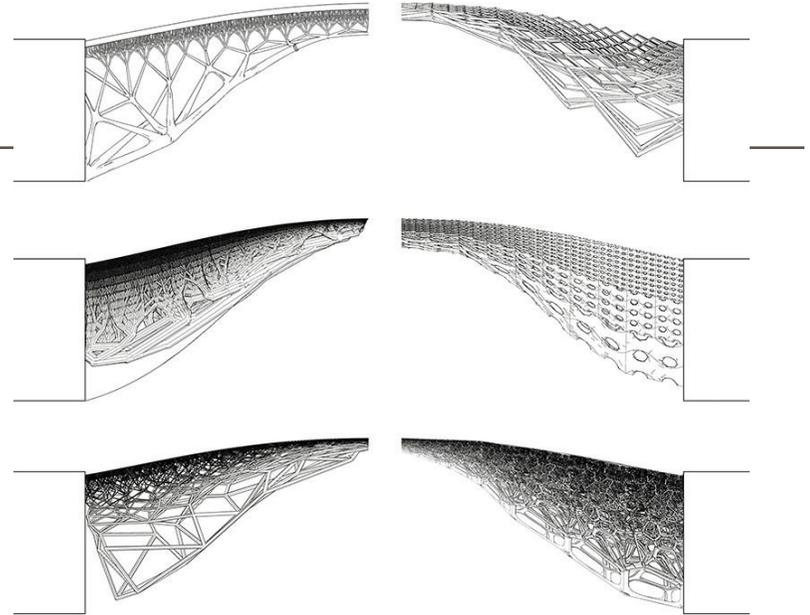
Exemples (préfabrication) : Winsun (Chine)

- Premier exemple « industriel »
- Forte médiatisation...
- ...Mais le modèle d'affaire reste obscur



Exemples (préfabrication)

- La préfabrication 3D devrait:
 - Résoudre des problèmes techniques
 - S'appuyer sur la conception automatisée
 - Être utilisé en complément d'autres méthodes



Exemples (maison individuelle) : Apis COR (Russie)

- Startup russe
- Sur site, maison individuelle
 - Demo en Février 2017 : 37 m²
- Fourniture d'équipements et license



 apis cor

Exemples (maison individuelle): Démonstrateur YHNOVA

- Coffrage isolant en mousse PE
- Approche robotique innovante
- Chantier en cours à Nantes...



-
- La recherche-développement LafargeHolcim
 - Petit état-de-l'art de l'impression 3D en béton
 - La vision et la stratégie de LafargeHolcim sur l'impression 3D



LafargeHolcim

La démarche de LafargeHolcim

- **Définition d'un "coeur de métier"**
 - Fournisseur de "solutions matériau"
 - Comprendre et participer aux innovations dans les procédés, les services et la gestion des données
- **Importance clé des partenariats**
 - Universitaires, startups, industriels...
- **Acteurs clés au coeur du développement de la technologie**
 - Architectes
 - Entreprises de construction à la pointe des technologies numériques
 - Roboticiens
 - Développeurs de logiciel de contrôle-commande en relation avec le BIM
 - Fournisseurs de matériaux ("l'encre des imprimantes 3D")

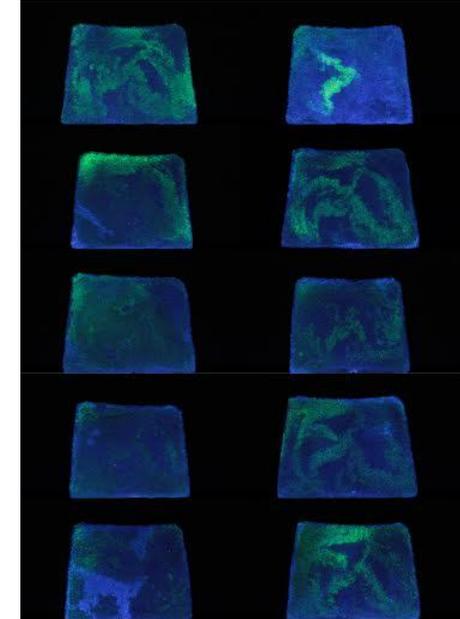
Formulation de béton imprimable

- **Un cahier des charges complexe à l'état frais**
 - Pompable ou extrudable...
 - Résistance au cisaillement à l'état frais
 - Croissance très rapide de résistance dès les premières heures
 - Faible sensibilité au défaut de cure
- **A l'état durci, une structure potentiellement feuilletée**
 - Le matériau doit répondre aux exigences normales en termes de propriétés mécaniques et de durabilité
 - Suivant les sollicitations et la présence ou non d'armatures, les interfaces entre couches peuvent présenter des points de faiblesse



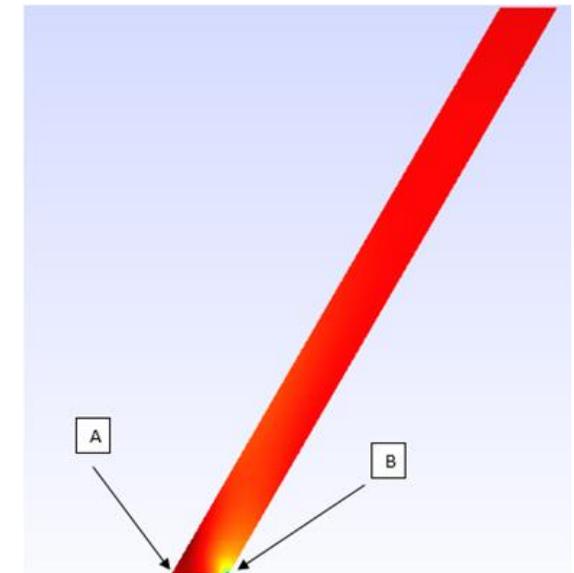
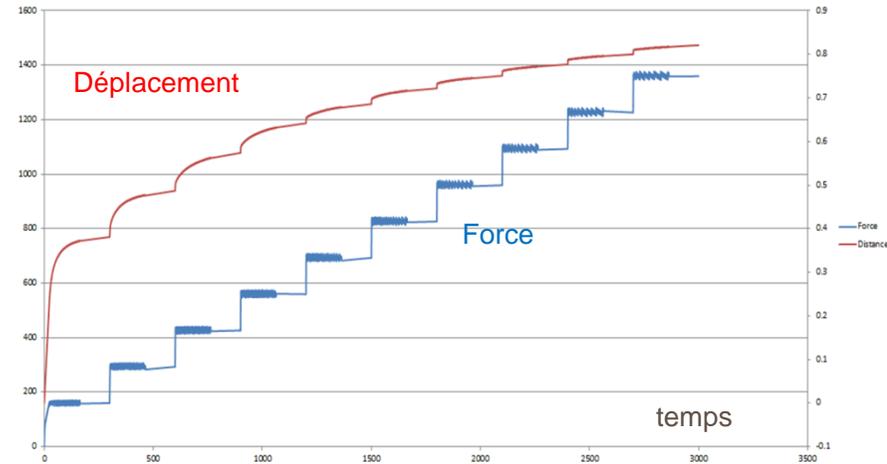
Procédé : comprendre les interactions avec la matière

- **Montage de démonstration procédé**
 - Même sans imprimer, travailler à la bonne échelle
 - Échelle 1: 1 m³/h, échelle labo: 0,1 m³/h
- **Influence du procédé sur la matière**
 - Procédé continu, pas en batch
 - Comportement matière très sensible à son “histoire”



Caractérisation et prédiction

- **Nouveau domaine de comportement à explorer**
 - Comportement en compression/traction/cisaillement du mélange frais
 - Matériau fortement vieillissant
- **Des données clés pour l'utilisateur (futur)**
 - Contrôle procédé en ligne
 - Simulation de faisabilité et de respect des dimensions



Comment? Champs de recherche ouverts

Quelle organisation pour la filière ?

- Sur site ou en préfabrication ?
- Nouveaux modèles (préfab foraine, modulaire) ?
- Le chantier sera autant numérique que physique...



Source: fabbaloo.com

Et les renforts ?

- Imprimer sans renforts
- Imprimer autour des renforts
- Imprimer les renforts

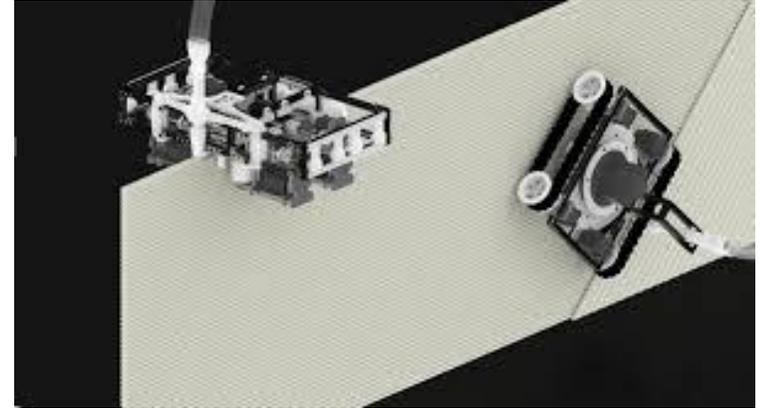


Source: ETH Zurich

Comment? Champs de recherche ouverts

Quels robots ?

- Portiques, bras... des robots « empruntés »
- Systèmes de robots légers et économique (robots à câbles)
- Robots autonomes de chantier ?



Minibuilders project (IAAC)

Nécessité de développer des méthodes de calcul, de justification et de contrôle-qualité

- Echantillonner le matériau et le tester dans ses différents états
- Calculer la structure en tenant compte des interfaces



Des questions à traiter pour changer d'échelle

Le défi de la vitesse de mise-en-oeuvre

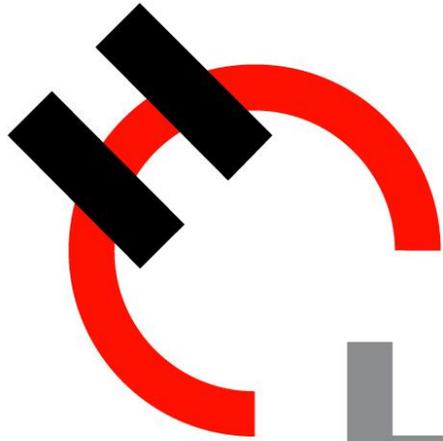
Le défi de la qualité de surface sans intervention manuelle

La nécessité de corriger le béton de sa faiblesse constitutive en traction

Comment imprimer en horizontal ?

**Merci de
votre
attention !**





Holcim

 A member of
LafargeHolcim