



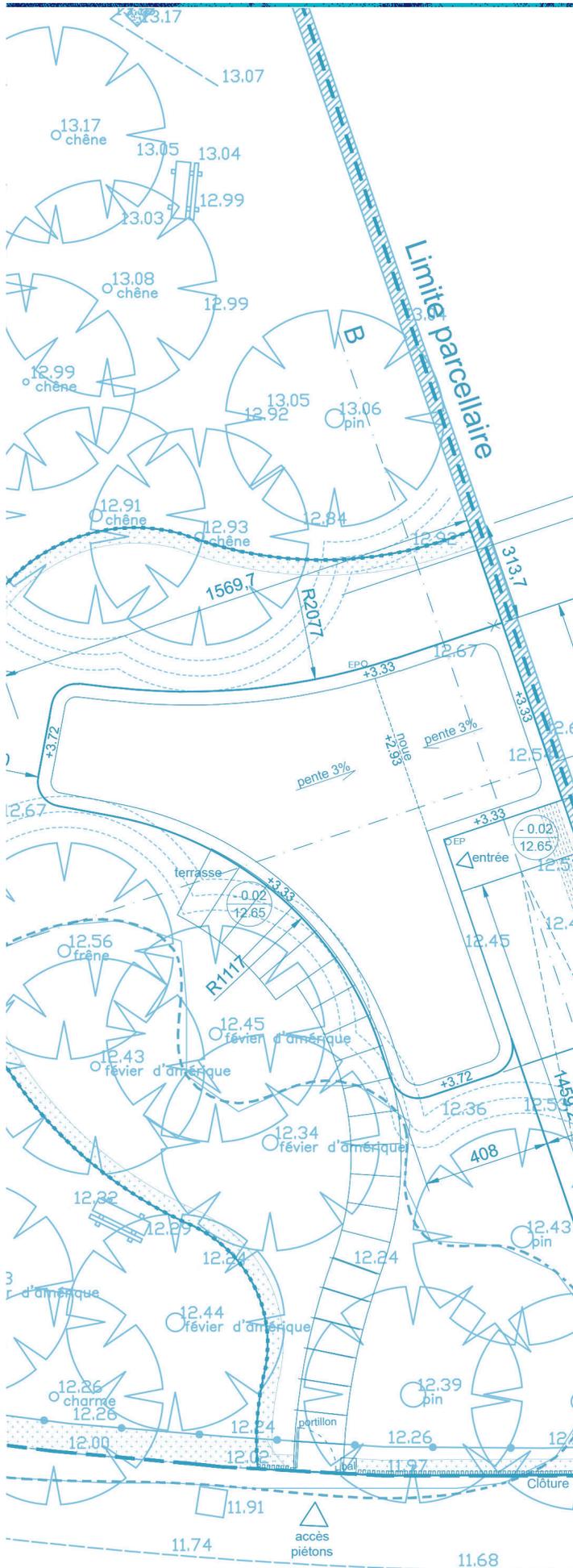
OUEST
VALORISATION
Ressources d'innovation

L'IMPRESSION 3D La révolution du secteur du BTP

Septembre 2017

Dossier réalisé en partenariat avec

In Extenso
Innovation Croissance



C'est toujours un challenge stimulant que de rédiger l'édito sur un sujet à la pointe de l'innovation. Un réel plaisir et à la fois une difficulté tant les retombées et les impacts sont nombreux et corrélés.

Le sujet de ce dossier thématique porte sur la fabrication additive, ou impression 3D, appliquée à la construction immobilière et le BTP. Il est question de transformation numérique et de BIM, de robot collaboratif, de technologie disruptive sur un marché réputé «conservateur».

L'ampleur de la tendance

En matière d'automatisation et de robotique, chaque année efface le record de l'année précédente et 2016 ne faillit pas à la règle : les ventes de robots industriels ont dépassé les 250.000 unités en 2015 et ceci sans mentionner les Foxconn et autres Amazon qui développent leurs propres robots, Foxconn à lui seul en aurait 60.000 dans ses usines.

Fabrication additive Accélération de la maturité de la technologie et de l'écosystème

La fabrication additive n'est pas un procédé nouveau, mais sa propagation rapide dans tous les domaines s'est trouvée accélérée par la vague de fond de la transformation numérique. Le BIM, maquette numérique du bâtiment, ouvre la voie à une nouvelle façon de construire l'habitat : conception personnalisée et créative, nouveaux matériaux, délais réduits, impact économique.

En collaboration avec les consultants d'In Extenso Innovation Croissance, nous vous livrons une vision actualisée et mondiale sur les tenants et aboutissants de la technologie appliquée au monde de la construction.

Batiprint3D™ et la Maison YHNOVA™

À la SATT Ouest Valorisation, des projets tels que Batiprint3D™ sont au cœur de la raison d'être et constituent des enjeux majeurs de par l'exhaustivité du consortium de partenaires réunis.

La réalisation de la maison YHNOVA™ par le procédé BatiPrint3D™ constitue une première, certainement d'impact mondial, par la réalisation d'un habitat échelle 1 pour le logement social : une vraie maison de 95 m2.

À l'heure où ce dossier est publié, la maison YHNOVA™ s'imprime et prend corps grâce à la prouesse d'un écosystème territorial tourné vers l'innovation où la recherche scientifique trouve un terrain d'expérimentation sur le territoire d'une métropole innovante.

Plus que jamais au croisement de l'industrie du futur, des Smart Cities et de la fabrication additive, il est donc question de continuité numérique et de transformation digitale : de la maquette numérique à la construction robotisée et collaborative puis au monitoring des structures et des usages.

Le savoir faire, l'expérience accumulée et la notoriété créée autour de BatiPrint3D™ et YHNOVA™ confirment le potentiel d'un leader européen sur le domaine de la fabrication additive appliquée à la construction immobilière et au BTP.

Vous souhaitant autant de plaisir à découvrir ce dossier que nous en avons eu à le rédiger.

Très bonne lecture.

Bruno Westeel
Responsable Marketing et Communication
SATT Ouest Valorisation

SOMMAIRE

#1

Panorama du marché
et état des lieux de la technologie
par In Extenso Innovation Croissance

Page 4

#2

Présentation du procédé Batiprint3D™,
développé par l'Université de Nantes

Page 12

#3

La maison Yhnova, Nantes Métropole Habitat,
et la feuille de route

Page 14

#5

Analyse de l'impact économique du procédé
Batiprint3D™ sur le coût de la construction

Page 16

#6

Technologies complémentaires issues du
portefeuille de la SATT Ouest Valorisation

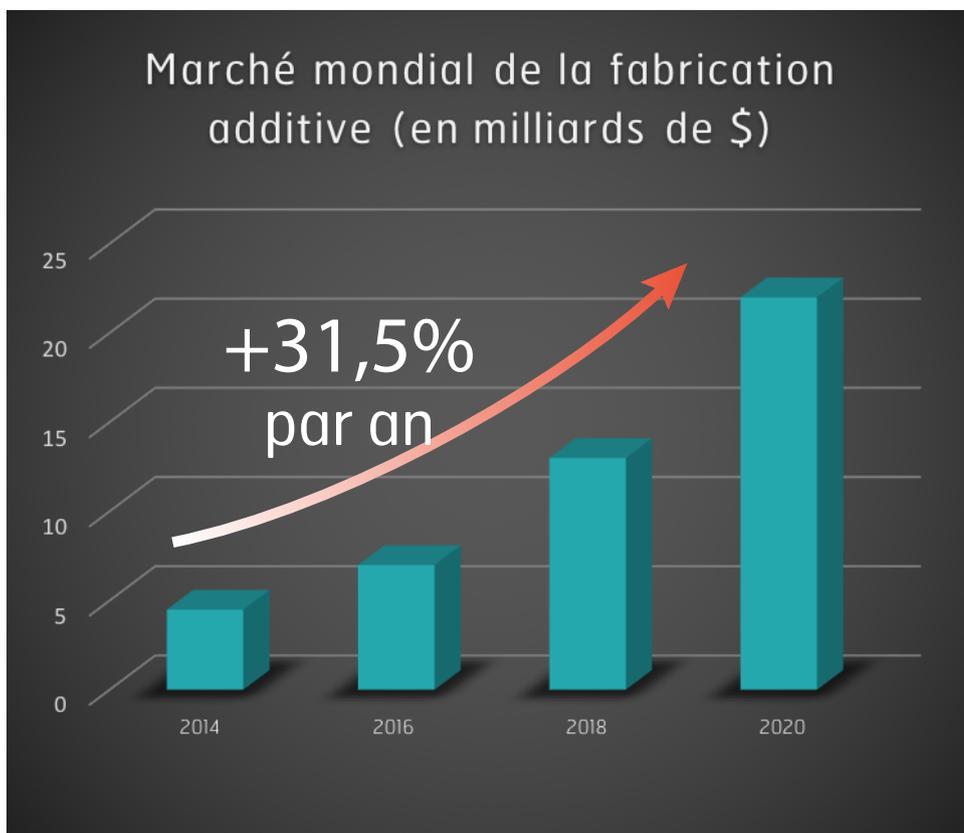
Page 18

#7

Pour plus d'info : la SATT Ouest Valorisation
Véritable pont entre le public et le privé

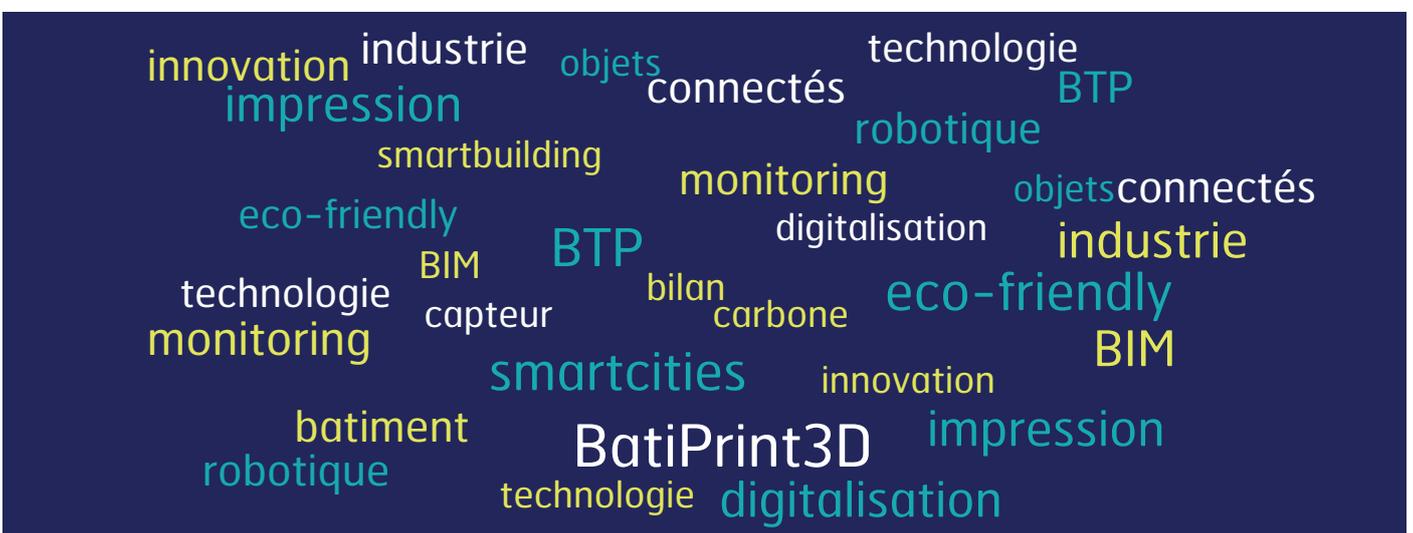
Page 24

LE MARCHÉ EN INFOGRAPHIES



Le secteur **du bâtiment et de l'architecture** représente **3,2%** du marché mondial de la fabrication additive

+ de 200 familles de brevets déposés dans le monde (fabrication additive dans le bâtiment)



LES AVANTAGES DE LA FABRICATION ADDITIVE



Gain de temps
Rapidité
d'exécution



Réduction
des coûts de
construction



Réduction des
déchets liés à la
construction

CO₂

Réduction des
émissions
de dioxyde de
carbone

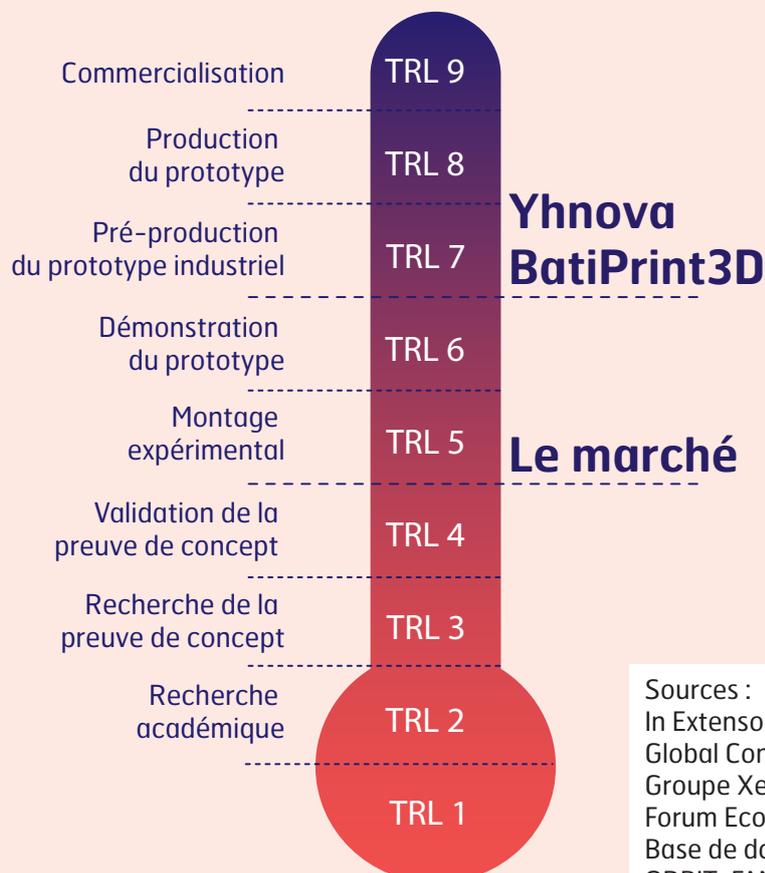


Précision et
créativité accrues



Amélioration des
performances
thermiques

TECHNOLOGY READINESS LEVEL (TRL)



Sources :
In Extenso Innovation Croissance
Global Construction Oxford Economics
Groupe Xerfi
Forum Economique Mondial
Base de données de brevets
ORBIT-FAMPAT de la société QUESTEL

PANORAMA DU MARCHÉ DE L'IMPRESSION 3D DANS LE BTP

La révolution du secteur du BTP

Par David Afriat

In Extenso
Innovation Croissance

Une montée en puissance inéluctable de la valeur numérique des bâtiments

Les progrès technologiques en termes de capteurs couplés aux nouvelles capacités de stockage et d'analyse provoquent une augmentation significative d'informations numériques et numérisées dans le secteur du bâtiment.

En effet, la data devient un élément central créateur de nouvelles richesses et de nouveaux métiers tout au long du cycle de vie d'un bâtiment. Du bâti neuf ou à rénover, de sa construction en passant par la phase d'exploitation, l'enjeu d'aujourd'hui est de développer un continuum numérique de données entre la conception, la construction, l'immobilier et l'environnement urbain.

Cette montée en puissance de la valeur digitale des bâtiments et infrastructures est renforcée par les innovations technologiques logicielles mais aussi non logicielles suivantes :

- **Les nouvelles technologies 3D** (salles immersives, réalité augmentée ou virtuelle via des dispositifs d'affichage tête haute) renforcent par exemple l'atout visualisation du BIM. Sur ce point, notre analyse a tendance à conclure sur le fait que les acteurs auront besoin d'abord de monter en maturité sur le BIM avant de pouvoir exploiter pleinement les synergies avec ces technologies.
- **Progrès technologiques** en matière d'échange de données, grâce à des services cloud pour le stockage.
- Progression des outils de **capture numérique** comme les caméras 360° ou les scans 3D.
- **Bénéfices économiques** sur la fabrication et préfabrication grâce à l'intégration des technologies d'impression 3D.
- Ajout de la collecte automatique d'informations par tout type de capteurs, dont les objets connectés (intégration d'une puce RFID dans un mur en béton) (SHM : monitoring des structures).

Comme le souligne le manifeste «Conduire la transformation digitale pour la construction, l'immobilier et l'aménagement urbain» :

« Un double challenge se pose au secteur de la construction : intégrer les technologies du numérique dans ses processus pour accroître sa productivité du secteur, mais surtout savoir proposer des usages pertinents de ces outils, au-delà des phases de conception et de construction, en concurrence avec de nouveaux acteurs qui ne possèdent pas encore l'expérience de l'acte de bâtir ou d'aménager ». En effet, cette transformation digitale de la filière génère de plus en plus d'avatars numériques des bâtiments, des quartiers et des territoires.

Cet « **actif digital territorial** » représente un levier d'attractivité et de compétitivité d'un territoire, au même titre que les infrastructures de transport, les équipements publics ou encore les aménagements urbains.



La fabrication additive : un marché en forte croissance pour atteindre près de 20 milliards de \$ en 2020

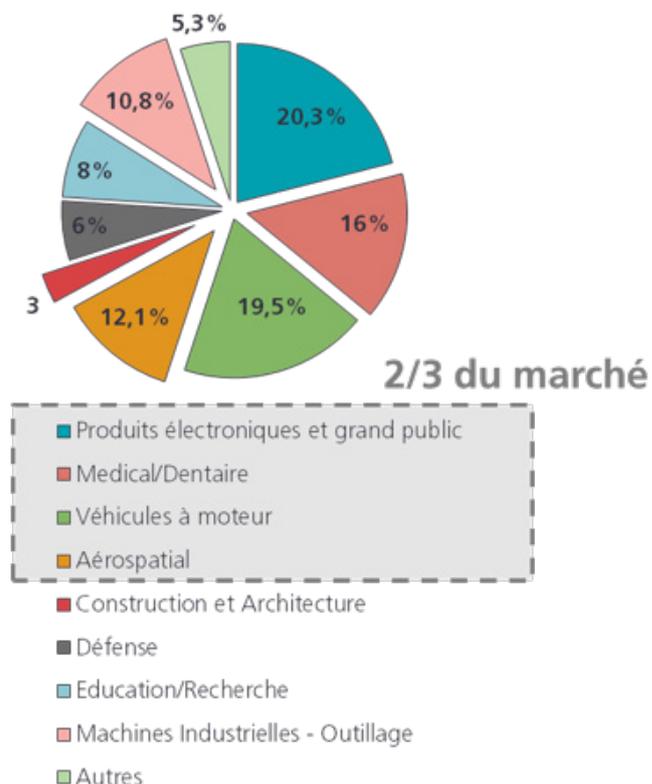
Poussé par une maturité grandissante des utilisateurs et une multiplication des usages, le marché de la fabrication additive connaît une croissance rapide qui a tendance à s'accroître au cours des dernières années.

En effet, les ventes de machines, de consommables et de services associés ont connu une croissance annuelle moyenne de près de 27 % au cours des dernières années. Véritable indicateur de cette accélération, ce même taux a atteint 33,8 % sur la période 2012-2014 et démontre l'engouement des industriels et des organisations pour ce marché porteur rendu plus accessible du fait de l'expiration de certains brevets majeurs.

Fin 2014, le marché mondial de la fabrication additive était évalué à plus de 4 milliards de dollars en valeur par les cabinets Wohlers Associates et AT Kearney, montant qui ne prend pas en compte les investissements réalisés par les industriels, probablement cachés ou en cours.

Les prévisions en ce qui concerne la croissance de la fabrication additive à l'horizon 2020 varient grandement selon les sources et oscillent entre 11,7 et 21,2 milliards de dollars. En parallèle, le cabinet d'études Canalys ou la société américaine International Data Corporation envisagent des accélérations beaucoup plus marquées avec un marché en valeur estimé à 16 et 21 milliards de dollars respectivement dès 2018.

Ces chiffres sont sans doute optimistes et intègrent vraisemblablement les retombées secondaires telles que les moules, matrices et outillages divers ou les pièces produites grâce à ces outillages.



Une pénétration progressive de l'impression 3D dans le domaine du bâtiment

Réputé très conservateur, le segment du bâtiment et de l'architecture se positionne de façon secondaire avec **3,2 % du marché mondial de la fabrication additive**, avec un potentiel intéressant. Aujourd'hui, les initiatives des acteurs pionniers concernent de façon quasi-exclusive l'utilisation du béton et visent à réduire les délais de réalisation d'un ouvrage ou d'un habitat. Des réflexions pourraient être menées auprès des acteurs de la filière granulats pour proposer des mélanges résines/sables mais cela reste relativement éloigné de ces applications.

Les besoins exprimés dans le BTP sont multiples : réparation, fabrication d'un élément complexe en petite série pour un ouvrage d'art, construction rapide d'habitats d'urgences, réplique à moindre coût, formes architecturales créatives **La construction 3D permet ainsi de bâtir dorénavant des maisons directement sur site**, dans des délais très rapides, avec la capacité de s'affranchir des contraintes géométriques et de proposer des formes architecturales innovantes.

L'essor de l'impression 3D dans le secteur du BTP ne fait que commencer, mais présente un potentiel disruptif sur les outils et méthodes de construction actuelles, ainsi que sur les durées de réalisation des chantiers.

Les barrières réglementaires à lever pour valider l'utilisation de ces technologies sont cependant très fortes.

Il est important de préciser ici que les réflexions apportées ci-après en termes de maturité et de diffusion des technologies dans le BTP sont issues des conclusions de **l'étude prospective sur le futur de la fabrication additive menée en 2016 (pour le compte de la Direction Générale des Entreprises)**. En effet, au vu de l'obsolescence rapide des machines et des avancées technologiques, il est probable de voir le marché évoluer plus rapidement avec l'apparition de procédés proposant déjà des solutions avant l'horizon envisagé.

En effet, il existe dans un premier temps **un gros effort à fournir pour développer une formulation adaptée aux conditions de mise en œuvre par couche** : à chaque nouvelle couche, il faut s'assurer que la couche inférieure ne s'affaisse pas grâce à une prise du béton plus rapide (accélérateurs de prise et adjuvants). Par ailleurs, la mauvaise connaissance de l'évolution du béton selon les conditions climatiques ou le lieu du chantier limite les usages à la fabrication d'éléments préfabriqués dans des entrepôts où l'atmosphère est contrôlée.

Si la filière adopte une attitude prospective, les premiers usages concrets envisagés consistent à se servir de la fabrication additive pour réaliser des moules en résine rapidement et à moindre coût pour couler un élément complexe en béton (le moule étant généralement détruit) ou encore à utiliser ce procédé pour fabriquer des peaux de coffrage qui seront ensuite utilisées comme isolants. Ce développement court-terme ressemble aux projets d'outillages rapides et permet de profiter rapidement des avantages de la technologie.

A moyen terme, l'accélération du procédé et le développement de **nouvelles formulations** devrait permettre d'industrialiser la fabrication directe de sous-ensemble par fabrication additive, mais dans une atmosphère connue et maîtrisée.

Enfin, une meilleure connaissance du comportement du béton pourra permettre de prédire les ajustements à apporter en fonction des conditions et du lieu de coulée et de réaliser in situ des maisons individuelles.

Ce premier marché plus accessible dans un court terme offrira une opportunité intéressante pour les utilisateurs de pompe à béton pour construire l'habitat ou l'élément directement sur site.

Autre aspect de la réglementation, **les certifications**

...

Ce sera clairement un avantage compétitif pour les acteurs qui pourront concilier nouveau procédé, amélioration des matériaux et des procédés et maintien, voire dépassement, des certifications nationales/régionales attendues.



Panorama des impacts socio-économiques de l'impression 3D BTP et des acteurs en présences

Dans un avenir proche, la technologie d'impression 3D béton devrait apporter aux constructeurs une solution innovante pour travailler plus vite, moins cher et répondant à de nombreux enjeux sociétaux. En effet, un des premiers avantages repose sur **la rapidité de mise en œuvre** et de réalisation du chantier, ce qui permet de **réduire la pénibilité** et **les délais de fabrication** des programmes de logements.

Ce temps record d'impression impacte par ailleurs considérablement les coûts de construction dans la mesure où ce procédé nécessite bien moins de ressources humaines et matérielles que les méthodes de fabrication conventionnelles. D'après Contour Crafting (Université de South California), **le procédé de fabrication additive permettrait de réduire de 75 % les émissions de CO2 et de 50 % l'énergie grise** (dépense énergétique totale évaluée en kWh/tonne, pour l'élaboration d'un matériau, tout au long de son cycle de vie, de son extraction à son recyclage en passant par sa transformation) par rapport aux techniques traditionnelles.

En effet, la fabrication additive offre la possibilité de n'utiliser que les matériaux strictement nécessaires au déroulement du chantier, **limitant ainsi le gaspillage, les frais de transport ou encore la matière première**. La production de béton et de ciment étant l'une des activités les plus productrices de dioxyde de carbone au monde, il est aisé de comprendre l'impact durable de l'impression 3D dans le bâtiment.



Enfin, l'intégration de fonctions et la possibilité de produire des **pièces, formes et volumes complexes quasiment sans surcoût** libèrent la créativité des contraintes de fabrication traditionnelle. Cette révolution architecturale offre de nouvelles opportunités en termes d'usages et de design afin d'enrichir la valeur esthétique et de confort des bâtiments à des coûts abordables.

Forces en présence :

Depuis les années 1990, le secteur de la construction voit un certain nombre d'acteurs émerger dans le domaine de l'impression 3D béton, **les précurseurs** étant souvent issus de laboratoires de recherche à l'image du Contour Crafting de l'Université de Californie du Sud ou BatiPrint3D de l'Université de Nantes.

Un écosystème dans lequel l'Europe et la France sont bien positionnées avec des acteurs tels que Construction 3D, Xtree, WASP, BatiPrint3D ou encore Cybe Construction qui communiquent beaucoup et s'entourent de partenaires de renom.



Caterpillar investit dans une start-up spécialiste des robots-maçon



tenant compte des portes, des fenêtres, des caractéristiques et des canaux pour le câblage électrique et la plomberie.

Caterpillar vient d'investir 2 millions de dollars dans Fastbrick Robotics, la société australienne à l'origine du robot maçon nommé Hadrian X et capable de poser 1000 briques par heure. Les deux sociétés collaboreront au développement, à la fabrication, aux ventes et aux services de cette technologie de maçonnerie, avec un conseil d'alliance stratégique nouvellement établi qui détermine les meilleurs moyens d'intégrer Hadrian aux clients de la construction dans différents pays.

Construit sur un bras de flèche de 30 m attaché à un camion, Hadrian X est un robot-maçon de pose rapide capable de rester dans une seule position pendant son œuvre. Un modèle CAO 3D de la maison est introduit dans le système et, suite à ces instructions, le robot peut couper et placer jusqu'à 1 000 briques par heure, en

Quand la fabrication additive se déploie aux outillages et nouveaux matériaux

Au-delà de l'impression de bâtiments (préfabriqués en usine ou non) ou d'infrastructures à l'image du pont réalisé en 3D par MX3D aux Pays-Bas, la fabrication additive peut également impacter d'autres maillons de la chaîne de valeur en révolutionnant parfois les usages :

- **Les pièces et outillages** : à l'image d'autres industries telles que l'automobile ou l'aéronautique, la réalisation des gabarits, fixations et autres outillages d'assistances opérationnelles utilisés tout au long des processus de production représente également une réalité industrielle (parfois plus court terme que la fabrication directe). Par exemple, modéliser et produire par impression 3D une clé, un raccord plutôt que de l'usiner ou de faire exécuter cette opération dans un atelier externe permet de réduire considérablement le coût, les problèmes de disponibilités et donc le délai d'approvisionnement de pièces fabriquées sur-mesure. Pour les acteurs un peu plus matures, la liberté de conception offerte

par la fabrication additive devrait permettre d'augmenter les performances des différents outillages : le poids, l'équilibre et la position ont un impact direct sur le confort du technicien et la cadence des opérations de production et d'assemblage.

- **Les nouveaux matériaux** : à l'image de la « Cool brick », l'impression 3D permet d'innover aussi bien en termes de design que de matériaux de construction en eux même. En effet, des designers américains ont ainsi mis au point une brique de construction aux propriétés de climatisation naturelle. Le treillage multiplie les surfaces d'échanges thermiques, optimisant les capacités poreuses de la céramique. Chaque brique absorbe ainsi l'eau contenue dans l'air, qui en s'évaporant fait baisser la température.

- **L'évolution des standards** : les possibilités de fabrication offertes par le nouveau procédé ainsi que les matériaux mis en œuvre devraient permettre de repousser les performances techniques, esthétiques, énergétiques élaborées par les organismes de certification (CSTB par exemple avec le RT2012 ...)

LE PROCÉDÉ BATIPRINT3D™



UNIVERSITÉ DE NANTES

BatiPrint3D™ une technologie de pointe pour un procédé robotisé inédit

Brevetée par l'Université de Nantes, BatiPrint3D™ est le fruit du travail conjoint de deux laboratoires nantais: **le LS2N** (spécialisé dans le développement de système robotique), et **le GeM** (étude des matériaux, formulation et caractérisation).

Son objectif : construire des logements à prix abordables, adaptables au terrain, personnalisables, rapidement livrables et à faibles charges d'utilisation.

Cette technologie de pointe consiste à déposer 3 couches de matériaux par le biais d'un robot industriel polyarticulé : deux couches de mousse type expansive servent de coffrage à une troisième couche de béton. Une fois l'élévation des murs terminée, la mousse reste en place pour obtenir une isolation de l'habitation sans pont thermique.

Les trajectoires du robot sont guidées par un capteur laser, à partir de la maquette numérique de l'habitat, directement sur la dalle.

Posé sur un AGV (Automated Guided Vehicle), il est adapté aux contraintes environnementales extérieures du site de construction, et stable afin de permettre une injection maîtrisée du matériau.

À la fin de l'opération, le robot mobile ressort par une ouverture prévue pour la pose des menuiseries. Il pourra être transporté sur un autre chantier pour réaliser de nouvelles constructions.

Des atouts économiques et environnementaux

Ce procédé permettra de réduire le temps de construction, d'améliorer l'isolation thermique, ainsi que de réduire les coûts d'exploitation de la construction. L'utilisation d'un moyen robotisé mobile permettra de repenser les méthodes de travail dans le domaine du BTP, qui, comme dans l'industrie, sont une nécessité pour réduire la pénibilité du travail, et limiter les postes à risques ou générateurs de TMS (Troubles Musculo Squelettiques).

Pour Benoît Furet, professeur à l'IUT de Nantes, chercheur au Laboratoire des Sciences du Numérique de Nantes (LS2N) et responsable du projet

BatiPrint3D™ : « Il est évident que la robotique de chantier va accompagner les changements drastiques autour du numérique dans la construction et le BTP. BatiPrint3D™ est un concept constructif qui va trouver de nombreux cas d'applications et pour lequel nous allons étendre les possibilités d'utilisation. »

Un procédé validé et conforme aux réglementations les plus exigeantes

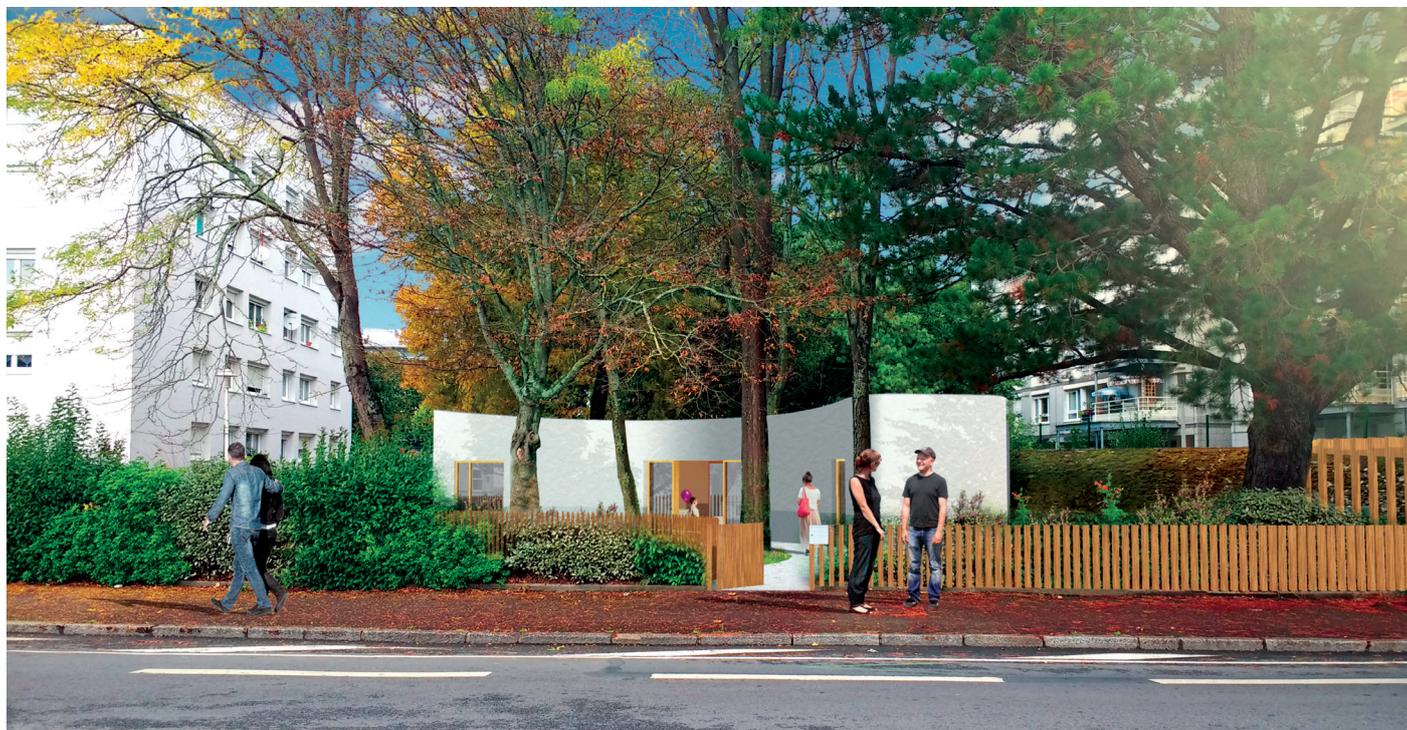
Appuyé par l'expertise scientifique du CSTB, les analyses techniques de SOCOTEC et le bureau d'étude EGIS, qui ont apporté une plus-value essentielle, l'équipe de l'Université de Nantes a pu proposer des solutions sur le classement et la résistance des matériaux, la coordination des corps de métiers, le confort énergétique et acoustique.

Ce travail créatif et technique mené en tandem avec l'architecte TICA, a également impliqué la SMA BTP assureur de l'ouvrage pour Nantes Métropole Habitat.

Chaque professionnel a apporté tout au long du projet, son savoir-faire pour élaborer des solutions nouvelles, innover dans les pratiques, pour réussir le pari de passer d'un robot d'impression 3D à la construction d'une maison durable, habitable et certifiée.



YHNOVA™,
le premier logement social imprimé en 3D



C'est en septembre 2017, lors de la Nantes Digitale Week, que vous pourrez découvrir la maison YHNOVA™, premier logement social construit en quelques jours grâce à une « imprimante » 3D. Ce projet s'inscrit dans la démarche Nantes City Lab, il est le fruit de l'étroite collaboration entre l'Université de Nantes, Nantes Métropole Habitat, Nantes Métropole et la SATT Ouest Valorisation et leurs partenaires.

Nantes City Lab, laboratoire d'expérimentations grandeur nature

Nantes City Lab est un dispositif à la fois simple et ambitieux, visant les start-up, PME, grands groupes, acteurs publics, chercheurs, écoles, associations... à construire la ville de demain. Le territoire de la métropole nantaise s'affirme ainsi comme terrain d'expérimentation pour tous ceux qui souhaitent développer et tester des solutions innovantes.

C'est dans ce cadre que les différents partenaires de ce projet innovant inédit ont réuni leurs savoir-faire et expertises pour rendre possible la construction d'une maison de logement social expérimentale à

Nantes, directement sur site dans un quartier nantais.

La maison YHNOVA™

D'une surface de 95 m², la maison YHNOVA™ située dans le quartier de la Bottière à Nantes, comprendra cinq pièces, des murs arrondis, des coins, des ouvertures... un ensemble de formes architecturales complexes qui seront réalisées par le biais d'une technologie révolutionnaire de fabrication additive robotisée : BatiPrint3D™ brevetée par l'Université de Nantes.

Le cabinet d'architecture TICA, qui a réalisé le projet, a tiré parti du nouveau procédé d'impression par robot pour dessiner une maison qui se glisse dans un terrain arboré en respectant la végétation existante tout en déployant une surface élégante et ouverte sur l'environnement.

Charles Coiffier nous confie : « **Le procédé novateur nous permet, entre autres, une grande « contextualisation » du projet. Pour cette maison en particulier, nous avons pu réaliser un projet très respectueux du contexte végétal existant. Les chambres du logement viennent effectivement se glisser entre les arbres, à distance suffisante afin**

de préserver le réseau racinaire, et sont reliées entre elles par de longs murs en courbes tendues délimitant un large espace de vie central ouvert sur l'espace boisé. »

Un travail d'équipe interdisciplinaire

Le projet YHNOVA™ est l'occasion de confronter et de résoudre l'ensemble des contraintes techniques, phoniques, thermiques, règlementaires, environnementales, urbaines etc., avec l'appui de différents experts intégrés à cette réalisation.

Fruit d'un travail interdisciplinaire entre les équipes de recherche du Laboratoire des Sciences du Numérique de Nantes (Université de Nantes, CNRS, Ecole Centrale, INRIA, IMT Atlantique) et de l'institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique (Université de Nantes, CNRS, Ecole Centrale), ce système innovant de dépose d'une triple paroi coffrante / isolante / structurante, permet aujourd'hui de construire les murs d'une maison par impression 3D, directement sur le chantier et en quelques jours seulement.

Le développement YHNOVA™ est accompagné par la Caisse des Dépôts et Consignation (CDC), dans le cadre de son soutien aux projets liés aux villes intelligentes et de la démarche nationale de « démonstrateurs Smart City » destinée à accompagner des projets d'expérimentation.

Le rôle de Ouest Valorisation

La Société d'Accélération du Transfert de Technologies Ouest Valorisation, mandataire unique des établissements de recherche en Bretagne et Pays de la Loire, joue ici pleinement son rôle d'investisseur technologique en consolidant la protection des résultats de recherche et en bâtissant une stratégie de valorisation ambitieuse du procédé industriel BatiPrint3D™.

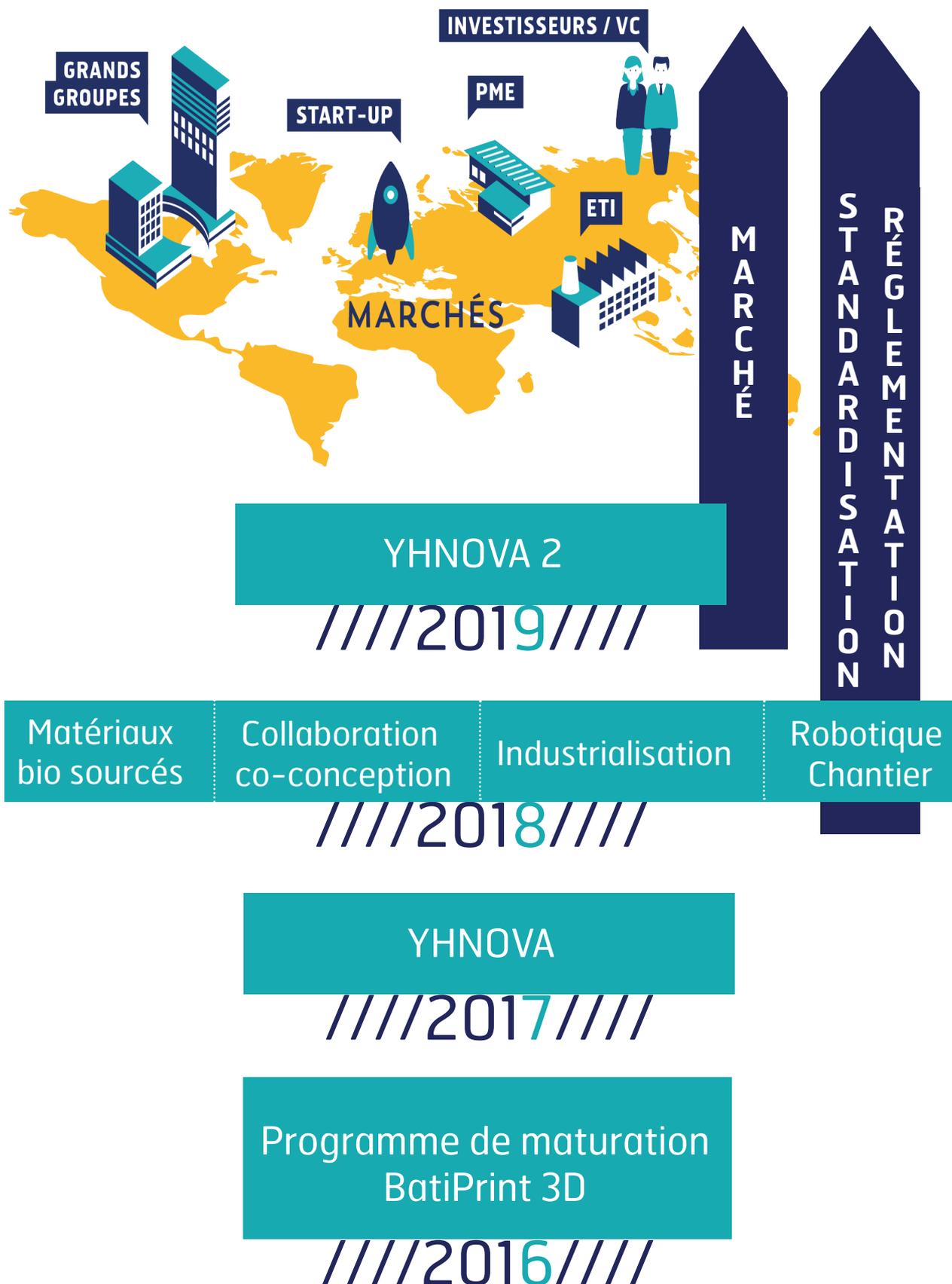
Vincent Lamande, président de la SATT Ouest Valorisation : ***« Nous sommes très heureux, grâce à l'investissement que nous engageons et grâce à une recherche académique de calibre international, de contribuer à renforcer la compétitivité des acteurs régionaux et d'accélérer le transfert de l'innovation ».***



Le consortium

LA FEUILLE DE ROUTE

de l'après YHNOVA™



BatiPrint3D™ : indice TRL7 atteint ! Prêt pour le Transfert

Système de mesure employé pour évaluer le niveau de maturité d'une technologie (matériel, composants, périphériques, etc.), le niveau TRL (Technology Readiness Level) permet de positionner la maturité du procédé en vue d'intégrer cette technologie dans un système ou un sous-système opérationnel.

Le procédé BatiPrint3D™ en étant appliqué à la construction in situ d'une maison à échelle 1 confirme le niveau **TRL7 : Démonstration du système prototype en environnement opérationnel**.

La réalisation d'YHNOVA™ signe un jalon majeur pour l'innovation par la validation et la formalisation de la technologie et la levée des risques. Fort de ce crédit, le transfert technologique vers le monde économique est désormais l'étape suivante.

Le projet phare du démonstrateur YHNOVA™ a permis de renforcer les collaborations entre l'Université de Nantes et les acteurs du bâtiment (constructeurs, bailleurs sociaux, architectes...), avec l'aide de la SATT Ouest Valorisation, investisseur technologique du programme de maturation.

La Feuille de Route : Industrialisation, Start-Up, YHNOVA2 ...

La création d'une start-up autour du principe constructif BatiPrint3D™ constitue une voie de valorisation privilégiée. Elle devrait voir le jour très prochainement, et à cette fin, un travail est en cours sur **l'industrialisation des moyens robotisés et des machineries associés au principe constructif** afin de répliquer le procédé à d'autres constructions et le faire bénéficier des retours d'expérience d'YHNOVA™.

Les équipes du LS2N et du GeM réfléchissent aussi à de nouvelles expérimentations permettant de répondre aux attentes du marché sur la réalisation **d'autres types d'habitats** tels que la réalisation de maisons avec un étage et bien évidemment le Vertical R+.

Porté par l'enthousiasme du travail collaboratif

accompli par le consortium et avec une certaine fierté à contempler YHNOVA™, un projet YHNOVA 2 est d'ores et déjà en cours de réflexion avec Nantes Métropole Habitat et Nantes Métropole.

Exploration

Outre la mise au point du procédé révolutionnaire BatiPrint3D™, de nouveaux thèmes et axes de recherche se dessinent sur la **feuille de route** : projets de recherche autour de la fabrication additive, la robotique ou encore sur les nouveaux principes constructifs ou de nouveaux matériaux.

Fort sujet d'attente de la société civile, la possibilité de travailler des matériaux bio-sourcés (un projet est en montage avec des collègues norvégiens du SINTEF, un autre avec des fournisseurs français de terre crue...) ou le développement de solutions robotiques de chantier (avec des partenaires comme PRB, Manitou, Bouygues...).

Toujours soucieux de se conformer à la réglementation et aux certifications inhérentes au monde la construction, la mise au point du procédé BatiPrint3D™ a permis d'entrevoir des **évolutions des performances** (certification CSTB, RT2012, ...) tant par les nouveaux procédés constructifs que par les matériaux mis en œuvre. BatiPrint3D™ pourrait « **faire bouger** » **les lignes de la performance énergétique du bâtiment durable**.

L'avenir de BatiPrint3D™ se traduit donc sous différentes formes de valorisation en termes de nouveaux axes de recherche, de création de valeurs, d'industrialisation, de création d'activités commerciales...

L'IMPACT ÉCONOMIQUE DE BATIPRINT3D™

sur le procédé constructif

Aussi innovante, pertinente, disruptive une nouvelle technologie puisse-t-elle paraître, elle n'échappe pas à l'impérieuse nécessité de rencontrer son marché avec le business model adapté et les bénéfices économiques ou d'usage avérés.

Dans le domaine de la fabrication additive appliquée à la construction, l'impact de la technologie porte sur plusieurs aspects de l'écosystème et de la chaîne de valeur.

Solution hybride, BatiPrint3D™ regroupe :

- dans un **seul procédé constructif** (3 couches) plusieurs opérations réalisées séparément auparavant,
- des **matériaux et leurs nouvelles formulations** adaptées au nouveau mode opératoire,
- et la **caractérisation**, dans le respect d'un niveau de performance des **certifications CSTB**.

Pour les acteurs ayant expérimenté à différentes échelles des procédés de construction par impression 3D, des chiffres économiques ont été communiqués portant soit sur le coût de fabrication au m² soit sur des gains économiques par poste constructif.

Première maison à échelle réduite construite in situ, APIS mentionne des coûts de construction de \$10134 pour une maison de 38m², soit environ \$275 par m² habitable.

(Source : <http://apis-cor.com/en/>)

Le chiffre annoncé interpelle fortement les professionnels du secteur tant il est éloigné des ratios constructifs connus à ce jour.

Le coût final par logement étant un critère essentiel dans les choix constructifs, nous avons souhaité pour BatiPrint3D™ évaluer les impacts économiques sur trois différents types de construction, à des fins de benchmarking représentatif des typologies du marché français, à savoir **3 types de logements** :

- un habitat « **individuel** », typique d'une maison de 100M2
- un habitat « **en bande** » consistant en un programme d'habitats individuels mitoyen en duplex de 1000 M2 découpé en 12 logements

Continuité digitale (BIM)



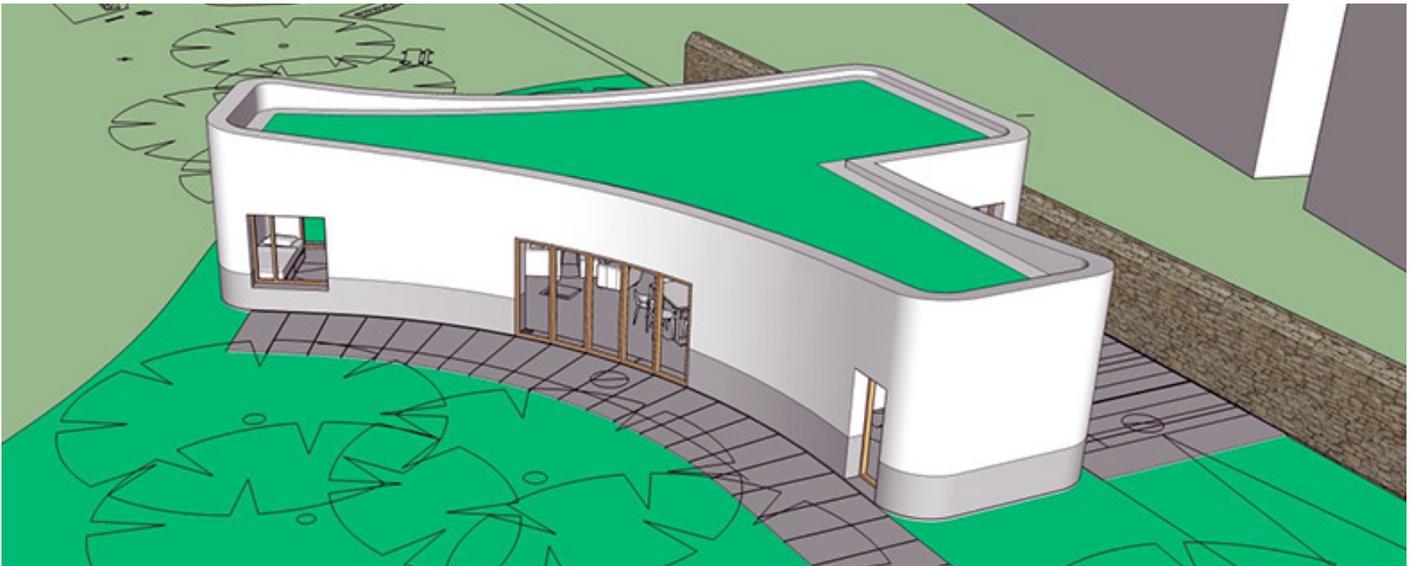
Procédé
+
Formulation
+
Caractérisation



- un habitat « **Vertical R+** » consistant en un programme d'habitat de 5000 M2 découpé en 75 logements.

Le procédé BatiPrint3D™ apporte un bénéfice économique sur un certain nombre de lots ou postes constructifs :

- un **impact direct sur le gros œuvre**, le comparatif est mené par rapport au procédé constructif en blocs individuels maçonnés,
- un **impact indirect sur le second œuvre** : isolation extérieure et doublage intérieur,
- un **impact direct sur la maîtrise d'œuvre/ pilotage** par l'apport du BIM et de la continuité numérique de la maquette : calculs automatiques des tracés robots, approvisionnement & logistique intégrés avec les ERP, continuité « post chantier » par la mise à disposition des données numériques du bâtiment,



Les premières estimations de réduction de coûts par type de programme, ramenées au prix de revient du logement complet font ressortir **des économies allant de 6% à plus de 10% selon le type de construction**. Ce chiffre est le résultat d'une pondération de l'impact de BatiPrint3D™ sur chaque poste constructif concerné. Le poste gros œuvre est bien évidemment celui le plus impacté, suivi par les postes second œuvre isolation intérieure et extérieure.

Les apports indirects liés au domaine «RSE» sont non quantifiés à ce jour mais d'impact significatif : réduction du coût CO₂ lié à la logistique, réduction des déchets chantier ...

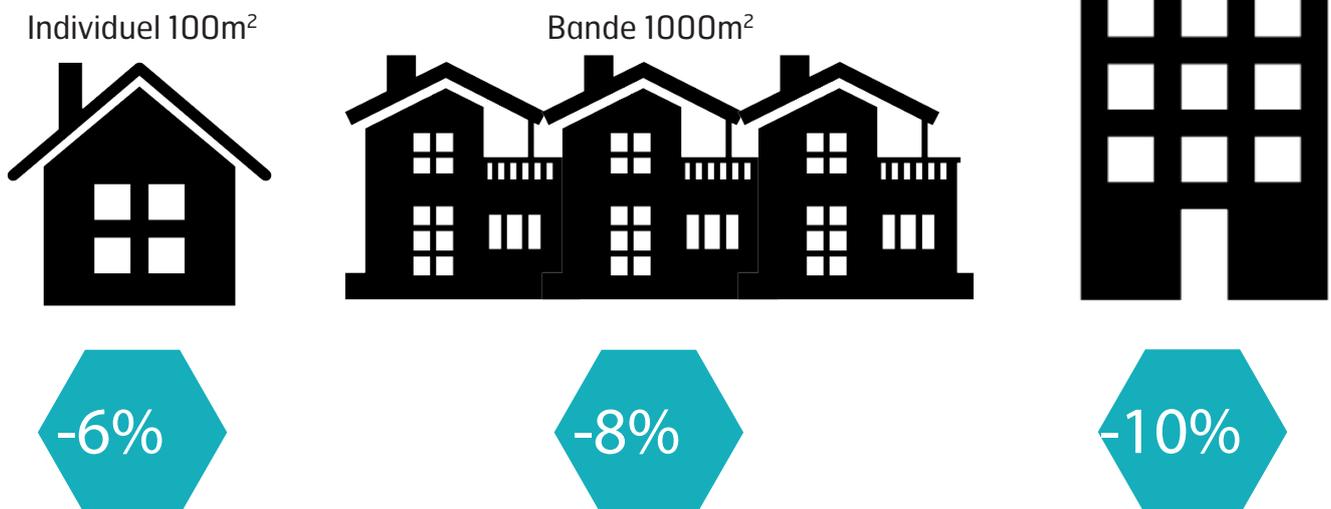
Comme mentionné par In Extenso Innovation Crioissance, citant Contour Crafting «**le procédé de fabrication additive permettrait de réduire de 75 % les émissions de CO₂ et de 50 % l'énergie grise (dépendance énergétique totale évaluée en kWh/tonne,**

pour l'élaboration d'un matériau, tout au long de son cycle de vie, de son extraction à son recyclage en passant par sa transformation) par rapport aux techniques traditionnelles»

Sur un sujet plus sensible, l'apport sociétal et son impact sur l'emploi (requalification, réduction de la pénibilité, accident ...) n'ont pas été couverts.

La maison YHNOVA™ prenant forme à l'heure de la publication de ce dossier, l'étude économique sera actualisée et confortée suite au retour d'expérience de la réalisation et de la performance du procédé.

À suivre sur le site www.batiprint3d.fr



Légende : les premières estimations de réduction de coûts par type de programme
source : Étude interne consortium

LES OFFRES DE TECHNOLOGIES

de la SATT Ouest Valorisation

Comme vous avez pu le lire tout au long de ce dossier, la filière BTP est plus que jamais à la conquête d'équipements toujours plus performants et intelligents. Les enjeux environnementaux et sociaux liés à ce secteur sont très forts et nécessitent donc une recherche continue en matière d'innovation.

La **SATT Ouest Valorisation** investit dans la détection, la protection et la maturation de projets qui peuvent répondre à ce besoin du marché. Voici **quelques technologies issues de son portefeuille liées à la fabrication additive, la robotique ou encore le monitoring** de structures.

LOGICIEL POWER ADD

Programme de trajectoire pour la fabrication additive

L' OFFRE INNOVANTE

Le logiciel Power-ADD est un logiciel d'assistance à la programmation de trajectoires pour la fabrication additive avec les fonctionnalités suivantes :

Extraction des courbes de niveau et des courbes guides de positionnement angulaire

Génération des programmes pièces ISO pour la machine (en splines ou en interpolation)

Seul le remplissage si nécessaire est généré par la FAO. Il est possible d'intégrer rapidement de nouvelles stratégies de remplissage.

Ce logiciel s'appuie actuellement sur les logiciels de CAO 3D, Delcam-PowerSHAPE, et FAO, Delcam-PowerMILL, mais il est possible de s'appuyer sur d'autres logiciels de CAO et/ou FAO.

CONTACT

SATT OUEST VALORISATION
14 C, Rue du Pâtis Tatelin 35078
RENNES
Tél. +33 (0)2 99 87 56 01
email : info@ouest-valorisation.fr

SES APPLICATIONS

Toute machine de fabrication additive avec tous logiciels CAO et/ou FAO

SES BÉNÉFICES

Fonction : programmation de trajectoire pour fabrication additive

Souplesse

Adaptabilité

INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE ASSOCIÉE

Logiciel Power ADD déposé auprès de l'APP le 09/01/2014

LABORATOIRE :

LS2N - Laboratoire des Sciences du Numérique de Nantes

FABRICATION HYBRIDE

Fabrication additive directe et parachèvement combinés

L' OFFRE INNOVANTE

Cette nouvelle solution consiste en un procédé d'usinage par addition de matière et mise en forme combinées permettant de passer de l'usinage par addition (fabrication additive) à l'usinage par mise en forme (au cours du process) et vice versa à l'aide de la même tête d'usinage.

Ce procédé de fabrication est particulièrement adapté à la réalisation de pièces dont la forme tridimensionnelle ou la qualité microgéométrique des surfaces n'est pas réalisable par les procédés d'usinage par addition de matière et de mise en forme lorsque ceux-ci sont appliqués séparément.

Cette solution permet la réalisation d'une pièce de forme complexe d'un seul bloc avec des caractéristiques plus performantes en comparaison avec une pièce qui a été fabriquée avec des techniques traditionnelles avec des éléments assemblés (soudage par exemple).

SES APPLICATIONS

-  Production de pièces complexes
-  Réparation de pièces complexes
-  Production de pièces multimatériaux et à gradient de propriété
-  Prototypage rapide

SES BÉNÉFICES

-  Qualité de la fabrication
-  Caractéristiques plus performantes
-  Possibilité d'obtention de formes plus complexes sans assemblage
-  Compatible avec tout type de matériaux métalliques (hétérogènes, titane, inox...)

INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE ASSOCIÉE

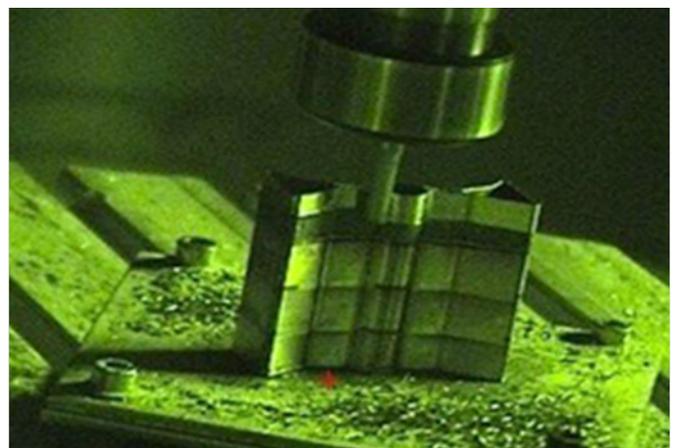
Brevet France FR2983424 déposé
le 02/12/11 et délivré
Extensions : Europe, US, Canada,
Chine, Japon et Corée du Sud.

LABORATOIRE :

LS2N - Laboratoire des Sciences du
Numérique de Nantes

CONTACT

SATT OUEST VALORISATION
14 C, Rue du Pâtis Tatelin 35078
RENNES
Tél. +33 (0)2 99 87 56 01
email : info@ouest-valorisation.fr



PONÇAGE ROBOTISÉ

Procédé de surveillance et d'inspection du ponçage robotisé

L' OFFRE INNOVANTE

La présente innovation se présente comme un nouveau procédé de surveillance et d'inspection du ponçage robotisé par analyse du travail d'abrasion suite à la mesure de la puissance absorbée en temps réel et au couple abrasif / matériaux.

La solution permet de calibrer la cellule robotisée afin de détecter en temps réel des événements néfastes à la qualité du ponçage, définir l'état de surface du ponçage (ceci sans ajout de capteur sur l'effecteur) en temps réel, et ainsi permettre des actions immédiates d'intervention sur le process de préparation de surface (reprise directe) ou des actions ultérieures (reprise global de la pièce).

La solution inclut :

- 🔧 Principe de mesure de puissance
- 🔧 Instrumentation de l'effecteur
- 🔧 Etalonnage préliminaire par couple abrasif /matière
- 🔧 Synchronisation des données
- 🔧 Visualisation des données (cartographie)

SON APPLICATION

- 🔧 Ponçage robotisé

SES BÉNÉFICES

- 🔧 Performance de la surveillance et de l'inspection
- 🔧 Analyse temps réel
- 🔧 Coût réduit

INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE ASSOCIÉE

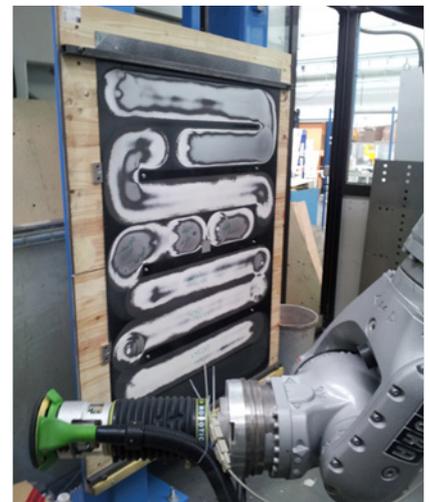
Dépôt d'un brevet FR1452006 « Procédé et système de contrôle d'un ponçage orbital » le 11/03/14.
Extension PCT

LABORATOIRE :

LS2N - Laboratoire des Sciences du Numérique de Nantes

CONTACT

SATT OUEST VALORISATION
14 C, Rue du Pâtis Tatelin 35078
RENNES
Tél. +33 (0)2 99 87 56 01
email : info@ouest-valorisation.fr



PONÇAGE ROBOTISÉ

Changeur de disque abrasif à dispositif de contrôle de présence

L' OFFRE INNOVANTE

La présente innovation repose sur des perforations du disque abrasif et leur traitement dans l'automate.

Elle concerne un système complet et autonome permettant, après positionnement simple de l'effecteur de ponçage orbital par un moyen automatisé, d'orienter le plateau de la ponceuse, de retirer un disque perforé, de positionner un nouveau disque perforé, de contrôler à tout moment la présence ou l'absence de disque perforé sur le plateau et de stocker un ensemble de disques perforés dans un magasin.

Le système garantit la présence et un positionnement précis du nouveau disque perforé en imposant la coïncidence des orifices d'aspiration de l'outil et du plateau.

Il nécessite un encombrement réduit.

SON APPLICATION

 Ponçeuse robotisée

SES BÉNÉFICES

-  Plus de reprise de ponçage liée à l'erreur de présence
-  Aspiration maximum
-  Possibilité de l'intégrer dans de faibles volumes

INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE ASSOCIÉE

Dépôt d'un brevet France :
FR1261816 le 10/12/2012

LABORATOIRE :

LS2N - Laboratoire des Sciences du
Numérique de Nantes
URM 6597

CONTACT

SATT OUEST VALORISATION
14 C, Rue du Pâtis Tatelin 35078
RENNES
Tél. +33 (0)2 99 87 56 01
email : info@ouest-valorisation.fr



MONITORING DES CONTRAINTES DE STRUCTURE

Capteur fibre optique 3 dimensions

L' OFFRE INNOVANTE

Cette nouvelle solution de capteur pour le monitoring de structure se base sur un concept original permettant d'obtenir la mesure de tenseur de déformation selon 6 directions ; donc une information plus complète que les capteurs actuels (1D ou 2D).

Intégré au sein de l'ouvrage à contrôler (in situ), le capteur fournit les tenseurs relatifs à l'état de contrainte et de déformation de la structure, en fonction du temps et de l'emplacement du capteur, tout en étant non modulée par sa présence.

La technologie présente les avantages ci-dessous :

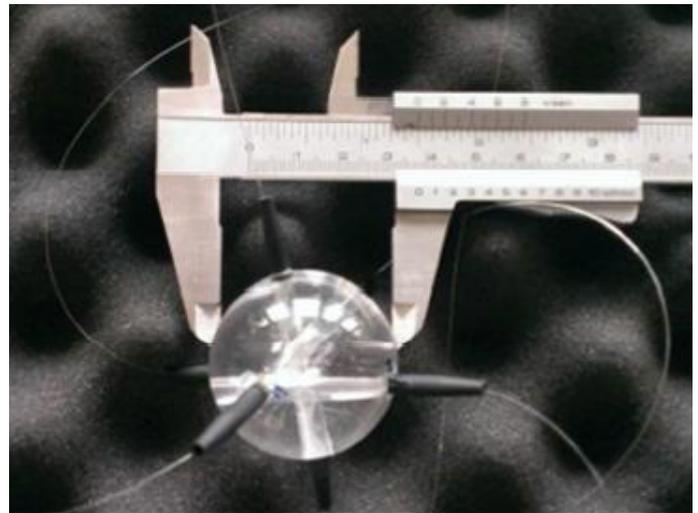
- Mesure d'un tenseur de déformations en 3 dimensions
- Mesure en temps réel (dispositif in situ)
- L'information est non modulée par la présence du capteur

SON APPLICATION

- Matériaux moulés à froid (béton) : notamment les structures fortement contraintes (pont, tunnel, barrage, EPR, structures offshores, ...)
- Matériaux moulés à température modérée (composites) : aéronautique, éolienne,...

SES BÉNÉFICES

- Information plus fine et robuste
- Information riche sur l'état de la structure
- Sécurité accrue



INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE ASSOCIÉE

Dépôt d'un brevet France :
FR1352216 le 13/03/2013

LABORATOIRE :

Institut de Recherche en Génie Civil
et Mécanique - GÉM

CONTACT

SATT OUEST VALORISATION
14 C, Rue du Pâtis Tatelin 35078
RENNES
Tél. +33 (0)2 99 87 56 01
email : info@ouest-valorisation.fr

TÊTE DE SOUDAGE FRICTION STIR WELDING

pour centre d'usinage machine outil à commande numérique

start-up
en création

L'OFFRE INNOVANTE

Actuellement, le soudage FSW est réalisé sur machine dédiée ou sur système automatisé ; le coût de ces équipements est important et de ce fait les industriels n'investissent pas sur cette nouvelle technologie de soudage pour des petites à moyennes séries. L'enjeu est de permettre le soudage FSW sur MOCN en protégeant la broche du centre d'usinage des efforts importants qu'implique le FSW et en ayant un contrôle en effort pendant le soudage.

L'innovation porte sur une tête de soudage qui se monte sur une machine-outil existante permettant de transformer simplement un centre d'usinage en machine FSW. Une fois les opérations de soudage réalisées, la machine peut être réutilisée en usinage. Cela augmente la flexibilité du parc machine du client tout en limitant son investissement. Cette tête intègre de nombreuses fonctions pour garantir la qualité de soudage sans l'utilisation d'une machine dédiée (contrôle de force, refroidissement, support des efforts).

SON APPLICATION

-  Soudage FSW pour petites et moyennes séries
-  Marché visé : Assemblage mécanique (matériaux Aluminium, Magnésium, Cuivre...)

SES BÉNÉFICES

-  Sécurité : protection des broches
-  Compliance active : nécessaire en FSW
-  Mise en œuvre simple : s'adapte sur les MOCN actuelles
-  Faible coût : il permet d'effectuer du soudage FSW avec des MOCN actuelles

INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE ASSOCIÉE

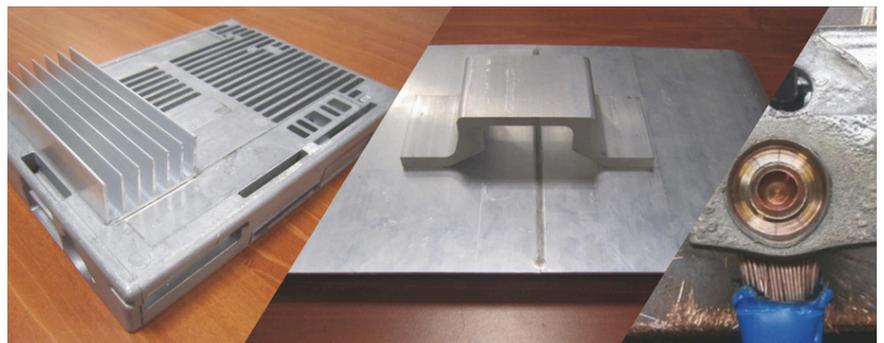
Dépôt d'un brevet FR1562796

LABORATOIRES

ENS Rennes

*Institut Maupertuis :
Laurent DUBOURG*

CONTACT
SATT OUEST VALORISATION
14 C, Rue du Pâtis Tatelin 35078
RENNES
Tél. +33 (0)2 99 87 56 01
email : info@ouest-valorisation.fr



La SATT Ouest Valorisation

Proposer aux entreprises des ressources d'innovation issues de la recherche publique





TRANSFÉRER DES TECHNOLOGIES ÉPROUVÉES & DES EXPERTISES DE POINTE

La SATT Ouest Valorisation propose des technologies protégées, mûries et validées grâce à ses investissements massifs en R&D pour renforcer le leadership technologique des entreprises.

L'équipe de la SATT apporte des réponses concrètes aux besoins de R&D et d'innovation des entreprises. Elle facilite l'accès aux laboratoires et simplifie la négociation des contrats.



FACILITER LES LIENS PUBLIC-PRIVÉ

La SATT Ouest Valorisation intensifie et diversifie les formes de coopération industrielle pour accélérer l'accès des entreprises aux technologies, compétences et équipements scientifiques des laboratoires de recherche publics.

L'équipe construit les programmes de R&D pour passer du résultat de recherche au prototype préindustriel convaincant pour les entreprises et les faire gagner en compétitivité.



DÉTECTER & PROTÉGER LES RÉSULTATS DE LA RECHERCHE

La SATT Ouest Valorisation identifie des projets présentant un fort potentiel innovant, les évalue et élabore avec les chercheurs la meilleure stratégie de protection et de valorisation.

L'équipe de la SATT accompagne au quotidien les chercheurs, développe le portefeuille de propriété industrielle des établissements et amplifie l'impact socio-économique de leurs recherches.

RETROUVEZ-NOUS SUR :
www.ouest-valorisation.fr



Vos contacts :



Bruno Westeel
Responsable Marketing & Communication
SATT Ouest Valorisation
bruno.westeel@ouest-valorisation.fr
Tél : 02 99 87 56 15



Nathalie Gréal
Chargée d'études marketing
SATT Ouest Valorisation
nathalie.greal@ouest-valorisation.fr
Tél : 02 99 87 46 55



David Afriat
Associé
In Extenso Innovation Croissance
david.afriat@inextenso-innovation.fr
Tél : 06 50 21 19 25



Nicolas Louée
Consultant confirmé
In Extenso Innovation Croissance
nicolas.louee@inextenso-innovation.fr
Tél : 06 58 46 71 47



Lauréat du programme
d'Investissements d'Avenir

