

Plurial Novilia 
Groupe ActionLogement

Viliaprint

Réalisation de cinq maisons
en impression 3D béton à REIMS

État d'avancement du projet
mai 2018 - février 2019

© Agence Coste Architectures



PRÉAMBULE

L'ambition du projet VILIAPRINT, porté par PLURIAL NOVILIA, est de faire évoluer la construction de logement social en France en intégrant pleinement la technologie de l'impression 3D.

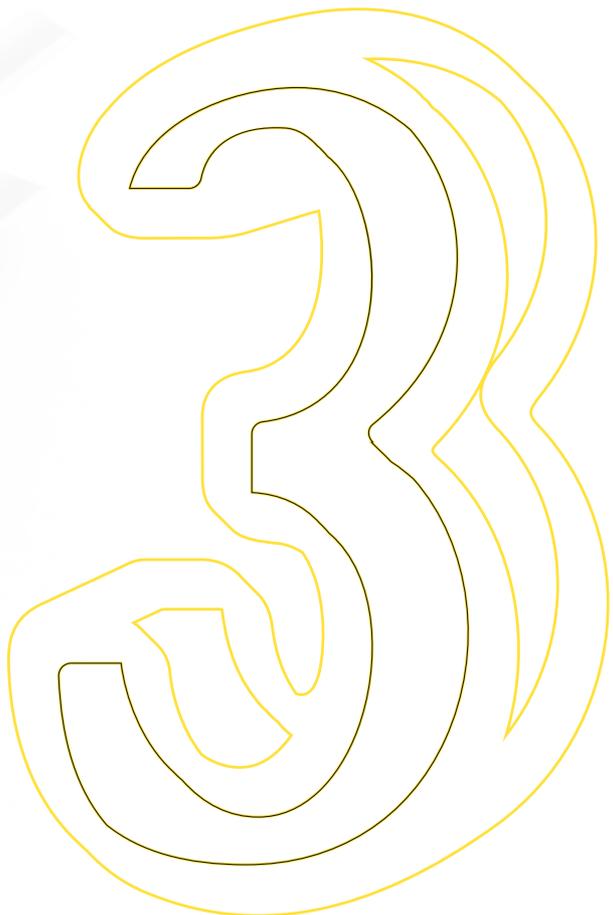
En tant qu'Entreprise Sociale pour l'Habitat (ESH) filiale d'Action Logement, PLURIAL NOVILIA souhaite en effet que ce projet contribue activement au développement de la technologie d'impression 3D, en la faisant passer du stade expérimental actuel à un stade pleinement opérationnel et reproductible.

Maître d'Ouvrage de ce projet expérimental, PLURIAL NOVILIA s'est entouré de partenaires fiables et prometteurs, tous spécialistes du sujet, afin de les intégrer dans une démarche

de co-expérimentation portant sur la réalisation de 5 pavillons, en s'appuyant en grande partie sur l'impression 3D et dans le respect de la réglementation du Code de la Construction.

Le programme sera intégré à l'éco-quartier RÉMA'VERT®, piloté depuis 2013 par PLURIAL NOVILIA et dont l'ambition est de redonner un certain souffle au paysage urbain rémois en alliant innovation, confort, qualité de vie et éco-responsabilité.

Cet éco-quartier s'inscrit dans un projet de renouvellement urbain unique puisqu'il prend place sur l'ancien site industriel du nord-est de Reims. Le projet se situe à l'heureuse rencontre de trois circonstances: un programme, une nouvelle technologie et une architecture. Cette conjoncture permet la requalification de cet espace péri-urbain.



SOMMAIRE

- 01 **ÉTAT DES LIEUX** → page 5
- 02 **ATOUTS DE L'IMPRESSION 3D** → page 11
- 03 **NAISSANCE DU PROJET VILIAPRINT** → page 15
- 04 **PRÉSENTATION DE L'ÉQUIPE PROJET** → page 21
- 05 **UNE EXPÉRIENCE REPRODUCTIBLE ET TRANSMISSIBLE** → page 25





”

**La fabrication additive :
une technologie d'avenir
pour un marché en plein essor**

A woman with blonde hair and glasses is sitting at a desk in an office, looking at a laptop screen. The background is slightly blurred, showing office shelves and windows. The overall tone is professional and focused.

01

ÉTAT DES LIEUX

« La construction en impression 3D en 2017 »

Si l'ambition de PLURIAL NOVILIA est de révolutionner l'usage de l'impression 3D dans la construction, c'est parce que l'entreprise a la conviction que cette technologie offre des opportunités et des possibilités quasi-infinies en matière de construction, et que celles-ci ne sont pas encore exploitées à leur juste valeur.

Pourtant, le secteur de la construction a vu émerger plusieurs acteurs de l'impression 3D béton depuis les années 90, notamment les précurseurs 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.

En Europe et en France également, des acteurs se sont positionnés avec succès sur le créneau comme **Construction 3D**, **BatiPrint3D**, **CyBe Construction** et bien sûr **XtreeE** que **PLURIAL NOVILIA** a sélectionné pour l'accompagner sur le projet **VILIAPRINT**.





LA FABRICATION ADDITIVE : UNE TECHNOLOGIE D'AVENIR POUR UN MARCHÉ EN PLEIN ESSOR

L'impression 3D, ou fabrication additive, est une extension du secteur de l'automatisation et de la robotique qui bat chaque année de nouveaux records. Selon le rapport annuel de la Fédération internationale de robotique (IFR), leurs ventes ont augmenté de 30% en 2017, pour représenter un marché de 16,2 milliards de dollars, en hausse de 21%. (source usinenouvelle).

Le rapport annuel du cabinet Wohlers, recensant l'activité mondiale du secteur, fait apparaître un bond de 80% dans l'impression 3D métal en 2017. Ce qui vient confirmer l'essor d'un secteur en pleine croissance et en pleine diversification.

RAPPEL : la fabrication additive (ou impression 3D) désigne les procédés de fabrication par ajout de matière, la plupart du temps assistés par ordinateur. Elle est définie comme étant le procédé de mise en forme d'une pièce par ajout de matière, par empilement de couches successives, en opposition aux procédés par retrait de matière, tel que l'usinage. En effet, si la fabrication additive n'est pas un procédé nouveau, son essor rapide doit beaucoup à la transition numérique de la

La fabrication additive désigne les procédés de fabrication par ajout de matière

société, révolution 4.0, accompagnée d'une maturité grandissante des utilisateurs-acteurs qui génère une multiplication des usages. Tous les secteurs sont concernés, construction, bâtiment et architecture ne font pas exception. Les règles de l'art de ces professions doivent donc évoluer pour s'adapter à ces nouvelles demandes et besoins de la société.

À cet égard, le déploiement du BIM a ouvert la voie à une nouvelle façon de construire l'habitat : co-conception personnalisée et créative, nouveaux matériaux, nouvelles morphologies, réduction des nuisances chantiers, des délais, ainsi qu'une meilleure gestion de l'impact économique, environnemental et énergétique.

Ce sont ces technologies que l'on retrouve au cœur des «Smart Cities» de la fabrication additive, des solutions qui dessinent le futur de l'industrie – un futur conjuguant continuité numérique et transformation digitale, et où la maquette numérique et la construction robotisée et collaborative permettent de développer le monitoring des structures et des usages.



CONSTRUCTION & IMPRESSION 3D : UNE MARGE DE CROISSANCE INDÉNIABLE

La réflexion menée par PLURIAL NOVILIA dans le cadre du projet VILIAPRINT vise à bousculer les habitudes du secteur de la construction, en poussant la réflexion au-delà d'une simple utilisation « annexe » de cette technologie.

En effet, la plupart des initiatives menées à ce jour concernent de façon quasi-exclusive l'utilisation du béton et visent à réduire les délais de réalisation d'un ouvrage ou d'un habitat.

Pourtant, les besoins exprimés par le secteur du BTP sont multiples et la fabrication additive pourrait bien y apporter des réponses concrètes, rapidement implémentables, que ce soit en matière de fabrication d'éléments complexes ou de formes architecturales originales, de construction d'habitats d'urgences ou encore de réparation et renfort

Viliaprint vise à bousculer les habitudes du secteur de la construction

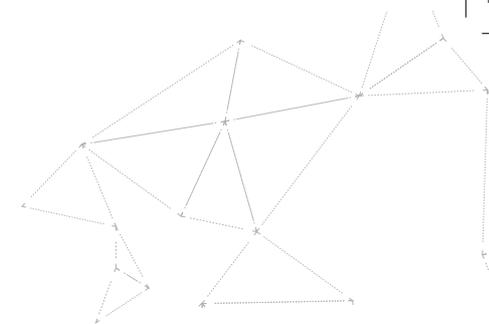
structurel pour un recouvrement rapide face à une situation critique.

Toutes ces réflexions ont été portées par PLURIAL NOVILIA et ses partenaires dans la phase de co-conception du projet **VILIAPRINT**, avec la volonté affichée de sortir des simples éléments de décoration

ou des quelques éléments de construction et éléments porteurs auxquels la construction 3D est encore trop souvent cantonnée.

Le résultat est un projet original architecturalement parlant, dont la majeure partie des éléments porteurs seront réalisés en impression 3D.

Le projet est non seulement parfaitement maîtrisé à tous les niveaux (coûts, délais, performances), mais il est aussi aisément reproductible par d'autres bailleurs et participera activement à la dynamique du « Logement d'abord ».





**Commercialisation accélérée,
Baisse des délais de fabrication,
Réduction des nuisances,
Liberté créative...**



UN PREMIER EXEMPLE DE LOGEMENT SOCIAL 3D

Si le projet **VILIAPRINT** repose sur une réflexion complète autour du modèle économique de la construction 3D, **un premier logement social** réalisé en quelques jours grâce à une imprimante 3D a été dévoilé en septembre 2017, lors de la Nantes Digitale Week.

La maison **YHNOVA** est le fruit de l'étroite collaboration entre l'Université de Nantes, Nantes Métropole Habitat, Nantes Métropole et Ouest Valorisation.

Ce projet qui s'inscrit dans la démarche **Nantes City Lab** a permis de confirmer **les multiples avantages de la construction 3D**, qui permet de bâtir 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 certes 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.



02

ATOUTS DE L'IMPRESSIION 3D

L'intégration de la technologie d'impression 3D béton dans le secteur de la construction offre de nombreux intérêts pour les acteurs du secteur.

Bien maîtrisée et intégrée aux procédés traditionnels, cette technique permet en effet de réduire les délais de construction et les coûts, tout en offrant une souplesse architecturale inédite et répondant à de nombreux enjeux sociétaux.

C'est un atout indéniable pour le secteur du logement social qui s'est fixé des objectifs ambitieux de construction pour les prochaines années – dans un contexte d'urgence et de recul du nombre de mises en chantier en 2018.





GESTION DE LA MAIN D'OEUVRE, RÉDUCTION DE LA PÉNIBILITÉ ET DES NUISANCES

Les avantages d'une mise en oeuvre et d'une réalisation rapide du chantier sont multiples. Outre une commercialisation accélérée et une baisse des délais de fabrication des programmes de logements, cette nouvelle mise en oeuvre se traduit également par une réduction de la pénibilité pour les équipes et des nuisances pour les riverains.

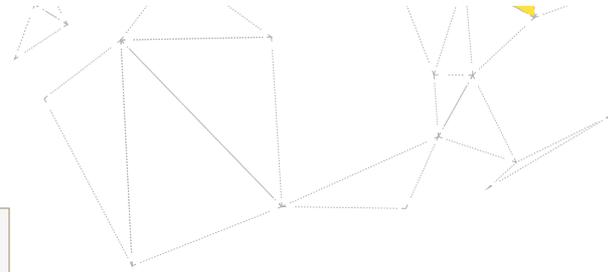
La préfabrication en usine de certains modules limite aussi les risques pour les équipes. Une intégration poussée de l'impression 3D dans la construction de logement pourrait induire une modification de la qualification des opérateurs du chantier.



GAINS DE MATIÈRE ET RÉDUCTION DES COÛTS

Qui dit impression rapide dit également réduction assez conséquente des coûts de construction puisque chaque chantier de construction 3D nécessite des ressources humaines et matérielles spécifiques par rapport aux méthodes de fabrication conventionnelles.

La fabrication additive permet en effet de limiter le gaspillage en n'utilisant que les matériaux strictement nécessaires au déroulement du chantier. Sachant que la production de béton et de ciment est l'une des activités les plus productrices de dioxyde de carbone au monde, on estime qu'à terme, le procédé de fabrication additive pourrait permettre de **réduire les émissions de CO2 et d'énergie grise.**





UNE PLUS GRANDE LIBERTÉ CRÉATIVE POUR LES ARCHITECTES

L'impression 3D permet de réaliser des pièces originales et complexes, tant par leurs formes (intégration de courbes, paraboles, ellipses...) que par leurs volumes – et ce quasiment sans surcoût. L'intégration de ces procédés dans la conception des projets permettra d'ouvrir le champ des possibles pour les architectes, aussi bien en termes d'usages que de design et de confort. La construction en zone tendue, et la création de solutions sur-mesure sur des sites complexes, sont également des champs d'application de la technologie.



03

NAISSANCE DU PROJET VILIAPRINT



PLURIAL NOVILIA, INNOVATEUR DE PROXIMITÉ

Le projet VILIAPRINT s'inscrit dans le prolongement d'une longue série de réalisations innovantes portées par PLURIAL NOVILIA depuis les années 80.

À l'époque, c'est avec le **célèbre immeuble Goldorak** (Architecte : Goldstein) que l'ESH bousculait les codes du logement social, invitant à une réflexion à la fois sur les usages et sur la qualité architecturale de ses logements.

Trente années plus tard, l'expertise de PLURIAL NOVILIA en matière d'habitat innovant n'est plus à prouver, comme l'ont une nouvelle fois démontré des projets majeurs comme la **Maison Vague de Sillery** (Architecte : Nadeau) ou encore l'ambitieux projet **KONEKTI à Bezannes** (Architecte : Rollet) – où deux maisons 100% connectées côtoieront à la fois un immeuble collectif et 5 maisons réalisées par 5 architectes venus des 5 continents (Architectes : AREP, TRIPTYQUE, OUALALOU+CHOI, LACOSTE+STEVENSON, S'PaCE).

L'expertise de Plurial Novilia en matière d'habitat innovant n'est plus à prouver



L'innovation est également au cœur de **l'éco-quartier RÉMA'VERT®** où le projet **VILIAPRINT** sera implanté, puisque le projet mise sur une triple mixité (architecturale, sociale, générationnelle) et sur plusieurs projets exemplaires (habitat participatif, immeuble à ossature bois...) pour redynamiser le tissu urbain rémois.

La construction en impression 3D de 5 maisons en location de typologie T3, T4 et T5 viendra ajouter une pierre supplémentaire à l'édifice de cet éco-quartier

exemplaire, et créera une vraie valeur ajoutée au service de l'occupant et du développement des territoires.

Le projet VILIAPRINT impliquera d'ailleurs les acteurs locaux dans une démarche collaborative élargie, visant à imaginer le logement social de demain – un logement de qualité, à la fois évolutif et durable, et parfaitement adapté aux besoins et aux aspirations de ses occupants.



UN PROJET AUX MULTIPLES DIMENSIONS ET OBJECTIFS

L'intégration poussée de l'impression 3D permet de repousser toutes les dimensions de la construction - que ce soit sur le plan social, économique, technique, architectural ou organisationnel.

C'est notamment cette richesse qui a été retenue dans le cadre de l'appel à projets du Lab Archi de la Banque des Territoires et de l'Union Sociale pour l'Habitat et que PLURIAL NOVILIA s'efforce de concrétiser depuis plus d'un an.



éco-quartier RÉMA'VERT®

→ **Un projet à dimension sociale**, visant à mettre l'impression 3D au service de la fonctionnalité du logement, du confort de ses occupants et du développement des territoires. Fidèle à la philosophie de PLURIAL NOVILIA, le projet **VILIAPRINT** remettra les besoins et les aspirations des occupants au coeur de la construction, en conjuguant logement social et haute qualité architecturale.

→ **Un projet à dimension économique**, visant à certifier une nouvelle technique de construction et à la rendre reproductible, à travers un modèle économique pérenne.

→ **Un projet durable**, qui permettra de valoriser les atouts de l'impression 3D en phase de chantier, aussi bien sur un plan environnemental (économies de matière, filière sèche... en respect avec l'exigence du cahier des charges de l'éco-quartier RÉMA'VERT®) que sur un plan sociétal (réduction de la pénibilité pour les équipes, réduction des nuisances pour les riverains...).

→ **Un projet à dimension collaborative**, intégrant de nombreux acteurs institutionnels et économiques locaux pour la phase de réalisation, et ouvert aux autres bailleurs afin qu'ils puissent s'approprier notre retour d'expérience.



UNE ORGANISATION DÉDIÉE

PLURIAL NOVILIA a mis en place une équipe de pilotage interne multi-métiers.

Cette équipe travaille main dans la main avec l'ensemble des partenaires sélectionnés au sein de l'équipe projet (voir partie suivante).

Le Comité de Pilotage de l'Innovation (COPINOV) de PLURIAL NOVILIA suit également le projet de près. Ce groupe de travail interne, composé de membres du comité de direction et responsables de service, se réunit de façon bimestrielle afin d'évoquer de nouveaux sujets d'innovation - qu'ils soient techniques, architecturaux, sociétaux, relatifs à l'objet social ou numérique.

L'objectif du COPINOV est notamment de décider l'engagement de PLURIAL NOVILIA en matière de projets innovants. Chaque projet engagé fait l'objet d'un suivi spécifique, durant lequel le pilote évoque les avancées, les contraintes, et les arbitrages à faire et qui devront être validés lors du comité. C'est bien évidemment le cas pour le projet VILIAPRINT qui fait l'objet d'un reporting régulier au sein du COPINOV depuis le 1^{er} jour.



LES MOYENS FINANCIERS

Outre l'équipe dédiée créée pour développer le projet Viliaprint, composée de collaborateurs internes à Plurial Novilia et de partenaires externes (cf. Équipe projet), une enveloppe financière de 300 k€ a été affectée au projet dès 2018 au titre des honoraires et budgets de développement (bureaux d'études ...).





Réunion de travail de l'équipe projet ””



L'équipe projet VILIAPRINT regroupe à la fois le pilotage multi-métiers de PLURIAL NOVILIA (Direction de la Maîtrise d'Ouvrage, services juridique et communication) ainsi que des représentants de l'ensemble des partenaires sélectionnés pour mener à bien le projet.



04

PRÉSENTATION DE L'ÉQUIPE PROJET



UNE ÉQUIPE TECHNIQUE

XtreeE, start-up spécialisée en impression 3D béton grande dimension

L'agence Coste Architectures

L'entreprise de travaux

Demathieu Bard Construction

Le groupe cimentier **Vicat**

L'École Nationale des Ponts ParisTech

La Fédération Française du Bâtiment
(Marne et Grand-Est)

XtreeE[®]
The large-scale 3^d

XtreeE conçoit et développe des solutions intégrant l'impression 3D grande dimension pour la construction. L'équipe rassemble des profils divers (architecture, génie civil, robotique, mécanique, science des matériaux) qui lui permettent de maîtriser toute la chaîne de l'impression 3D, de la conception à la fabrication, et donc d'intervenir à toutes les étapes du projet d'architecture et/ou du design.

À travers le projet **VILIAPRINT**, l'entreprise entend faire avancer de façon significative le développement et la mise en oeuvre de systèmes constructifs novateurs et les faire valider par des avis techniques ou/et d'expérimentation. XtreeE s'engage aux côtés de PLURIAL NOVILIA et de l'ensemble des partenaires du projet afin d'ouvrir de nouvelles perspectives architecturales et techniques dans la construction d'habitats répondant aux exigences nouvelles : construire mieux, plus vite, à coût global maîtrisé.

Référent projet : Mahriz AKHAVAN ZAKERI,
Architecte et co-fondatrice d'XtreeE

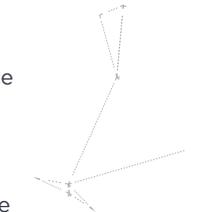
agencecoste
architectures



L'agence **COSTE Architectures** se différencie des autres agences d'architecture par une démarche volontaire et engagée à la fois dans la conception de bâtiments complexes très performants en énergie, et en R&D sur des nouvelles techniques de construction (BEFUHP, Moulages, Impression 3D, Hors Site...). Son expertise principale dans la conception de centres aquatiques lui permet d'apporter un regard nouveau sur les pratiques constructives contractuelles.

Volontairement non-standard et expérimental, le travail de l'agence **COSTE Architectures** s'inscrit pleinement dans la volonté de PLURIAL NOVILIA de faire de **VILIAPRINT** un modèle de « haute qualité architecturale » au service du logement social et du besoin des occupants.

Référent projet : Emmanuel COSTE,
Président de Coste Architectures,
Héloïse COLSON, Architecte.





Créé en 1861, Demathieu Bard est une entreprise indépendante qui regroupe 3300 collaborateurs pour un chiffre d'affaire de 1,2 Milliards d'€. Fort de son expérience dans la construction d'ouvrages d'arts, elle accompagne désormais des projets aussi variés que la construction de logements, d'ouvrages fonctionnels ou industriels. Fortement implantée dans la région Grand-Est et partenaire de longue date de PLURIAL NOVILIA, l'entreprise a toujours eu à coeur d'anticiper les grandes tendances de la société et de s'appuyer sur les nouvelles technologies – dont l'impression 3D. C'est donc tout naturellement qu'elle a rejoint l'aventure VILIAPRINT.

Référent projet : Guillaume LEGIEDA, chef de projet, agence de REIMS



Créée il y a plus de 160 ans, l'entreprise Vicat développe une offre performante de matériaux, produits et services adaptés à l'évolution des métiers de la construction : cimenteries, carrières de granulats, centrales à béton, usines de produits de second-oeuvre... Partout où il est implanté, le groupe s'attache au développement des territoires, de l'emploi local et au respect de l'environnement.

Vicat cultive, sur le long terme, des relations de confiance avec ses clients et partenaires dont PLURIAL NOVILIA qui a fait appel au groupe afin qu'il mette au service du projet VILIAPRINT son encre 3D spécifique, ainsi que ses compétences de formulations et de mise en oeuvre.

Référent projet : Olivier Martinage, chef de projet, ingénieur



L'École des Ponts ParisTech a créé un Co-Innovation Lab qui rassemble des plateformes expérimentales de pointe, dont une dédiée à la construction numérique à grande échelle, intégrant impression 3D et systèmes robotisés : « Build'In ». La société XtreeE étant l'un des partenaires de référence de cette plateforme, l'École des Ponts ParisTech a souhaité accompagner activement ce premier projet à grande échelle de construction de maisons individuelles.

Référent projet : Pr. Françoise PRÊTEUX, Directrice de la Recherche



Partenaire de l'innovation locale, la FFB a souhaité s'engager aux côtés de PLURIAL NOVILIA. Le projet VILIAPRINT participe en effet activement à l'ambition de la filière Construction de renouveler ses modes constructifs, d'explorer de nouvelles organisations et de faire le choix du bâtiment de demain.

Référent projet : Rodolphe LEFÈVRE, Président de la FFB Marne, Président de la FFB Grand Est

D'autres partenariats sont à l'étude avec le **lycée professionnel des métiers du BTP de Reims FRANCOIS ARAGO** et l'**École Art et Design de Reims**.

PLURIAL NOVILIA réfléchit à la possibilité d'élargir le périmètre de ses partenariats avec d'autres acteurs industriels ou institutionnels, ainsi que des intervenants dans le domaine de la formation.

→ **ALAIN NICOLE**

Directeur Général de Plurial Novilia



« Le travail mené depuis presque un an avec le concours des équipes du Lab CDC et l'Agence Coste Architectures nous a confortés dans l'idée que la technologie de béton impression 3D offre des possibilités quasi infinies en matière de construction »

→ **EMMANUEL COSTE**

Président de Coste Architectures



« Nous nous sommes inspirés de deux systèmes constructifs non conventionnels et innovants pour définir les grandes lignes architecturales du projet : l'impression 3D d'une part, pour la plupart des murs des maisons, innovation puissante permettant la réalisation de lignes courbes, complétée par des modules construits hors-site pour les blocs fonctionnels des maisons d'autre part »

→ **MAHRIZ ZAKERI**

XtreeE



« Nous sommes ravis de contribuer à cette expérimentation qui permettra de créer des modèles originaux, adaptés aux nouveaux usages à travers une flexibilité obtenue en matière d'aménagement de l'espace »





05

**UNE EXPÉRIENCE
REPRODUCTIBLE
ET TRANSMISSIBLE**



UN PROJET AMBITIEUX

Le projet VILIAPRINT se différencie des autres approches d'impression de maisons 3D par un modèle économique viable, basé sur le transfert de la technologie en faveur de l'économie locale. L'interaction entre les trois facteurs clés « **aspect architectural / contraintes techniques / maîtrise financière** » du projet sera observée en permanence et de façon itérative. L'ensemble des innovations testées constituera non pas une innovation incrémentale mais une **innovation de rupture** au sens propre du terme.

L'approche architecturale des maisons VILIAPRINT est à la fois **sociale** (grâce à un design évolutif et orienté « usages »), **écologique** (grâce à une enveloppe mono-matière à l'impact carbone réduit), **numérique** (grâce à la souplesse géométrique offerte par l'impression 3D), et **économique** (grâce à l'optimisation de la matière).

Le projet VILIAPRINT doit donc permettre de :

- **consolider le procédé** d'impression 3D ;
- **obtenir les certifications ad hoc** à cette nouvelle méthode de travail ;
- **construire plus vite** dans les standards de qualité ;
- **industrialiser le processus** du chantier en y intégrant les corps de métiers ;
- **favoriser l'économie circulaire** par transfert de technologie auprès des entreprises locales en charge de l'impression ;
- **fédérer les entreprises locales** autour de cette co-expérimentation.

L'objectif est également de faire la démonstration des nombreux avantages de la construction 3D, notamment pour le secteur du logement social :

- **gains de productivité** ;
- **alternatives architecturales**, en laissant une plus large place à la créativité ;
- **hausse de la sécurité** sur les chantiers ;
- **réduction de la pénibilité** du travail.

Ce projet aura vocation à être dupliqué dans le cadre de la politique de développement de PLURIAL NOVILIA, notamment en Ile-de-France (Seine-et-Marne77, et Essonne 91).



**UNE EXPÉRIENCE REPRODUCTIBLE
ET TRANSMISSIBLE** VILIA PRINT - ÉTAT D'AVANCEMENT DU PROJET - MARS 2019



UNE GESTION DE PROJET MAÎTRISÉE ET DUPLICABLE

À travers le projet **VILIAPRINT**, PLURIAL NOVILIA entend faire profiter l'ensemble des bailleurs sociaux de ses connaissances en matière de construction 3D certifiée.

Le projet doit en effet déboucher sur la formalisation de livrables autour de 3 thèmes :

- **Une certification par les organismes agréés (CSTB, bureaux de contrôle) ;**
- **un modèle technologique et économique, reproductible et déployable sur d'autres opérations ;**
- **un dossier technique partagé avec les bailleurs sociaux souhaitant développer des opérations similaires.**

Pour ce faire, PLURIAL NOVILIA entend participer à la levée des contraintes réglementaires qui brident actuellement la construction 3D. En effet, si la technologie existante permet l'impression 3D d'éléments en béton, la législation ne permet pas à ce jour d'utiliser d'éléments imprimés 3D comme éléments intégrés à la structure porteuse d'une construction.

À partir du diagnostic qui constitue, d'une certaine manière «l'étape 0» du projet, PLURIAL NOVILIA s'est fixé un planning d'action et une méthode permettant de scinder les différentes étapes, menées la plupart du temps de façon transverse.

Cette organisation a guidé PLURIAL NOVILIA vers la réalisation de 8 Livrables qui seront mis à disposition de tout constructeur, OPH ou ESH portant un intérêt sur le sujet :

- L1 La phase expérimentale de PROTOTYPAGE**
- L2 La méthodologie d'impression 3D : guide de conception paramétrique**
- L3 Principes de structure, dispositions constructives, mise en oeuvre**
- L4 Esquisse architecturale**
- L5 Un modèle de contrat adapté**
- L6 Planification études, ATEX, travaux**
- L7 Coût de construction et comparatif habitat classique**
 - L7.1** Fichier excel chiffrage 1m² de béton imprimé
 - L7.2** Fichier excel coût de construction comparé
- L8 Revue de communication au 28/02/2019**

Chaque étape, dont le calendrier est précisé dans le planning prévisionnel, fait l'objet d'une analyse poussée par les membres de l'équipe, que ce soit sur les plans technique, architectural ou en matière de certification.

AOÛT 2018 > MARS 2019

phase de prototypage préalable aux hypothèses de conception

Afin d'obtenir la certification de ses éléments structurels, PLURIAL NOVILIA mène depuis août 2018 une phase de prototypage préalable, afin de réaliser en usine des échantillons d'éléments imprimés 3D béton. Plusieurs échantillons expérimentaux ont été réalisés dans une logique d'amélioration, notamment esthétique, et de préparation des prochaines étapes.

L'ensemble des partenaires techniques (XtreeE, Vicat, Demathieu Bard) ont été mobilisés pour ces 10 sessions d'impression réalisées au siège d'XtreeE et qui ont notamment permis à PLURIAL NOVILIA et à l'équipe de :

- **formuler progressivement la bonne composition du béton ;**
- **définir les modes constructifs adaptés au projet associé ;**
- **définir les dimensions des ouvrages à réaliser ;**
- **préciser les limites du concept (dimensionnelles, résistance, esthétiques) ;**
- **réaliser un mur ultérieurement exposé chez le Maître d'Ouvrage, symbole du projet à venir.**

Cette phase a permis à la fois d'affiner le projet architectural (plans, façades...) et de préparer la phase de certification préalable aux travaux.

NB : le document de synthèse des prototypes réalisés se trouve en annexe



MÉTHODOLOGIE D'IMPRESSION 3D : GUIDE DE CONCEPTION PARAMÉTRIQUE

La mission de conception, réalisée classiquement de façon séquentielle par l'architecte, est aujourd'hui modifiée et fait l'objet d'interactions constantes avec le processus d'impression 3D des ouvrages afin d'intégrer, dès les esquisses, les possibilités et limites offertes par cette technologie. Un guide de conception paramétrique - en pièce annexe - développe cet aspect de l'impression 3D béton.

L'équipe pluridisciplinaire XtreeE maîtrise la chaîne de l'impression 3D de la conception à la fabrication et est donc à même d'intervenir sur l'ensemble des étapes du projet d'architecture/de design. Nous avons privilégié les collaborations démarrant dès la naissance du projet, afin de permettre aux architectes de prendre conscience au mieux des enjeux et contraintes des technologies d'impression 3D, et de découvrir en amont les potentiels dont ils pourraient tirer parti durant les étapes

de conception. XtreeE a également la possibilité d'intervenir plus tard au cours du projet, après les premières esquisses, à la condition de pouvoir adapter les géométries conçues initialement à certaines modifications éventuelles, nécessaires dans le cas du recours à l'impression 3D.

L'ensemble des formats de fichiers 3D peuvent être pris en compte par XtreeE (.stl, .obj, .step, .iges...). Les architectes avec qui nous collaborons ont donc la possibilité d'avoir recours à des logiciels variés, selon leurs habitudes : **Autocad, Revit, ArchiCAD, Rhinocéros, SketchUp**, etc.

En fonction de leurs préférences, tous les types de géométries peuvent être manipulés (points, lignes, surfaces, meshes), avec cependant une attention particulière à accorder à la précision et aux côtes exactes souhaitées. Après réception du fichier, XtreeE l'importera dans le logiciel Rhinocéros pour pouvoir véri-

fier et si nécessaire adapter la géométrie projetée, à l'aide également du plug-in Grasshopper.

La première étape est la vérification du respect des contraintes, notamment l'angle maximal d'inclinaison et les dimensions maximales de la pièce, dépendantes de la portée du robot. Selon la demande et selon la géométrie de la pièce, notre équipe traite ensuite un ensemble de paramètres avant de passer à la fabrication : sens de l'impression (vertical ou horizontal), ajout de supports structurels, ajout de textures, choix de la couleur, etc.

Une fois la meilleure stratégie d'impression définie, le parcours robot, qui guidera la machine au cours de l'impression, est programmé. Au cours de cette procédure sont définies et vérifiées la largeur et la hauteur des couches à imprimer, la quantité de matériau utilisée et la durée prévue de l'impression.





XtreeE maîtrise la chaîne de l'impression 3D de la conception à la fabrication

3D

Pour pouvoir communiquer avec le système d'impression 3D, en particulier le robot, un plug-in complémentaire, également intégré au logiciel Rhinocéros, est utilisé.

Celui-ci permet de contrôler un second ensemble de paramètres, comme la vitesse du robot, et de contrôler ainsi la qualité de l'impression. La pièce imprimée correspondra donc aussi précisément que possible à la pièce dessinée sur le logiciel initialement utilisé par l'architecte ou le designer. Une fois l'impression terminée, la pièce est prête à être transportée sur le chantier pour être intégrée au projet en cours de réalisation.



PRINCIPES DE STRUCTURE, DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES, MISE EN OEUVRE

Les principes de structure et de mise en oeuvre du projet sont étroitement liés aux concepts suivants :

- les capacités dimensionnelles du robot utilisé : en poste fixe, il peut réaliser des ouvrages de 3 mètres de hauteur maximum, jusqu'à une distance de 6 mètres maximum de l'axe vertical du robot ;
- les conditions d'emploi du robot : obligation de fonctionner en ambiance protégée et maîtrisée, qui exclut une utilisation en plein air ;
- la certification nécessaire par le CSTB sous forme d'un avis rendu à l'issue d'un ATEX, préalable au démarrage du chantier et à l'assurabilité du projet ;
- objectif de démarrer les travaux sous un an.

Les dispositions constructives à l'issue de la phase de prototypage et du rendu de l'esquisse sont :

- la réalisation à l'intérieur des murs de "réservations" pour y intégrer des armatures verticales et couler des poteaux, et horizontales en tête de murs pour réaliser des poutres de couronnement. Dans les deux cas, le coffrage sera réalisé par le mur imprimé ;
- le fonctionnement structurel des murs sera de type "poteaux-poutres" avec des éléments de façades imprimés solidaires de cette structure ;
- la réalisation des éléments de murs en usine est privilégiée, afin d'assurer la production en ambiance maîtrisée et poser ensuite ces éléments préfabriqués sur le chantier. Ce choix permettra également de réduire les nuisances sur chantier et les délais de construction, même si, en contrepartie, les éléments de murs devront être conçus pour être levés et transportés. La production en usine offrira également le choix d'une solution de filière sèche pour le gros oeuvre de superstructure.

Pour la mise en oeuvre, deux sites de production ont été identifiés :

un à Reims (le laboratoire du Lycée Arago), et un à Rungis (le siège de la société XtreeE).

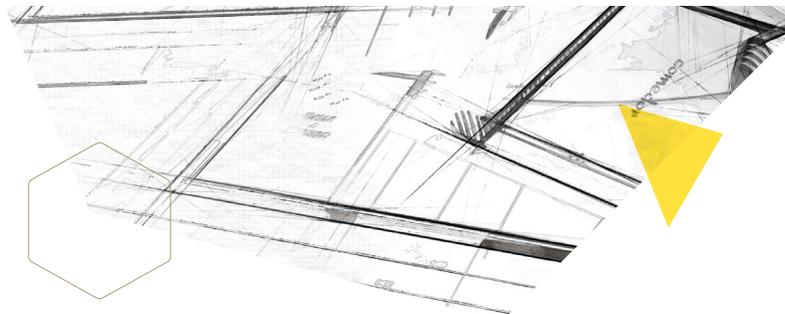
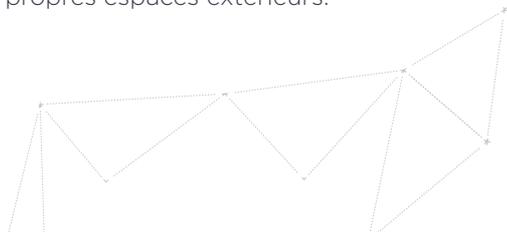


ESQUISSE ARCHITECTURALE

L'architecture des maisons VILIAPRINT s'inspire des deux systèmes constructifs non conventionnels et innovants mis en place pour le projet : les murs imprimés en 3D et la construction hors-site.

Chaque maison sera en effet composée d'un module implanté au nord, comprenant la cuisine, le cellier, l'entrée, les toilettes et la salle d'eau. Ces modules réalisés « hors-site » en ossature bois permettront des gains de délais, de performances et de qualité. Au sud de ces modules se déploieront des murs en béton imprimés, réalisés avec des formes plus libres, courbes. Ces murs encerclant le séjour et les chambres seront reliés aux modules grâce à des menuiseries vitrées créant des failles lumineuses avec connexions visuelles.

Du fait du côté longiligne de la parcelle, **l'Agence Coste Architectes** a choisi d'optimiser l'espace en réalisant des maisons mitoyennes, reliées par une grande « nappe » végétale en toiture, et bénéficiant chacune de ses propres espaces extérieurs.



Le jeu de quinconce, la connexion des modules hors-site, la construction imprimée avec des failles vitrées, les angles courbes et arrondis des murs en béton imprimé, créent un ensemble architectural optimisé avec une ambiance visuelle vernaculaire de village accentuée par le graphisme mural doux et chaleureux du béton imprimé - le tout uni harmonieusement par la grande toiture végétale se déployant sur les maisons.

Les failles vitrées seront adaptées sur mesure, grâce à la modélisation BIM, pour assurer les jonctions entre les éléments bois (modules, toiture) et les murs imprimés. Ces éléments seront soit pleins, soit vitrés. L'espace intérieur des maisons est pensé pour être fonctionnel et lumineux. Les cuisines, qui présentent une vue sur le jardin nord, s'ouvriront également sur les séjours sud.

Les chambres se déploient comme de petits cocons dans des écrans protecteurs superposés et créant ainsi un jeu d'ouvertures en quinconce vers les jardins.

Voir le projet d'esquisse
en pièce jointe



UN MODÈLE DE CONTRAT ADAPTÉ

La mise en place d'un projet expérimental comme celui de VILIAPRINT nécessite la mise en place d'un contrat adapté entre l'ensemble des parties prenantes. En effet, un contrat « classique », par partenaire, ne peut convenir au déroulé de ce type de projet puisqu'il ne reconnaît pas l'existence d'une « équipe » préconstituée et repose sur un fonctionnement trop séquentiel qui aurait pour conséquence de multiplier les délais d'étude et de travaux.

Pour palier à cette situation, PLURIAL NOVILIA pourra opté pour un contrat de type « conception-réalisation », qui contractualise les missions confiées par le Maître d'Ouvrage (PLURIAL NOVILIA donc dans le cas présent) à une équipe constituée dès le début du projet.

L'équipe ainsi missionnée par PLURIAL NOVILIA pour le projet VILIAPRINT comprend :

- **L'Architecte : agence Coste Architectures**
- **L'entreprise principale de construction : Demathieu et Bard**
- **L'entreprise d'impression 3D : XtreeE**
- **Les bureaux d'Études**

Le contrat « conception-réalisation » permet également de définir 3 tranches ainsi qu'un mandataire par phase. Les tranches 2 et 3 sont conditionnelles car leur contenu peut être amené à évoluer avant le début des travaux. De la même façon, leur coût, estimé à la signature, peut également évoluer, tout comme sa répartition selon les partenaires.

→ Cette conditionnalité constitue une sécurité essentielle pour le Maître d'Ouvrage.



PLANIFICATION ÉTUDES, ATEX, TRAVAUX

PLURIAL NOVILIA a mis en place, dès le début du projet, un planning prévisionnel fixant les grandes étapes.

(voir annexes)

Celui-ci peut néanmoins être amené à évoluer du fait du caractère expérimental exceptionnel du projet.

Cette évolutivité du planning demande une grande souplesse d'adaptation de la part de l'ensemble des partenaires qui font, depuis le début, preuve d'une mobilisation et d'une réactivité exemplaire.



PLAN DE COMMUNICATION

• **MAI 2018 – FÉVRIER 2019 :**

Études initiales, esquisses, prototypages, présentation du projet

• **MARS 2019 :**

Dépôt de permis de construire.

• **AVRIL – OCTOBRE 2019 :**

Études détaillées de structure, ATEX, préparation du dossier PRO

• **NOVEMBRE 2019 – JANVIER 2020 :**

Phase préparatoire travaux

• **JANVIER – OCTOBRE 2020 :**

Travaux



PRÉPARATION DE LA CERTIFICATION ATEX DE TYPE B

La certification du concept d'impression 3D est la phase essentielle et incontournable du projet VILIAPRINT. Il s'agit en effet d'obtenir un avis favorable du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), et d'obtenir ainsi l'assurabilité du projet immobilier et donc la possibilité de louer les maisons imprimées.

L'avis portera exclusivement sur le chantier **VILIAPRINT**, sur le principe d'une certification **ATEX de TYPE B**, et devra être reconduit pour tout autre projet similaire. Le travail préparatoire à cette certification est en cours d'achèvement : les esquisses ont été réalisées, les dispositions constructives identifiées, et les premiers prototypes réalisés. Ces éléments constitueront l'essentiel du dossier de présentation qui sera adressé au CSTB. **Une fois celui-ci envoyé, la procédure de certification sera alors enclenchée et prendra la forme suivante :**

Les étapes de la démarche de certification d'Atex :

- 1 • Déclaration d'intention du porteur ;
- 2 • Sous 15 jours : réponse du CSTB contenant une proposition commerciale, selon le barème officiel 2018, ainsi que la liste des éléments à fournir ;
- 3 • Sous 6 mois : dossier complet à établir ;
- 4 • Vérification puis transmission du dossier par le CSTB au rapporteur d'Atex (en général la Direction Technique du bureau de contrôle désigné) ;
- 5 • Sous 1 mois : rapport
- 6 • Le comité d'expert décide de la classification de l'ATEX (décision) :
Soit Favorable / Soit défavorable / Soit Réservé



La nature des essais ou justifications (liste non exhaustive) sera :

- Résistance au vent
- Justificatif sur la résistance au feu
- Perméabilité à l'air et à l'eau
- Tests sur l'éclatement du béton de structure

Les tests seront faits à l'état neuf et à l'état dit « vieilli »

- Selon l'application de revêtements (intérieurs ou extérieurs) : mêmes essais du complexe revêtu
- Tests sur les fixations possibles dans les parois, la résistance aux chocs intérieurs
- Justifications sur les caractéristiques thermiques
- Justifications sur la durabilité

Seront testées les parties courantes et les parties singulières

Concernant le mode opératoire de construction :

- Descriptif des fabricants
- Plan d'assurance qualité
- Justifications sur l'impression, le transport, le déchargement
- Justification de la compatibilité de déformation entre béton imprimé et béton de structure

NOTA : Un document de synthèse sur la phase de certification à réaliser courant 2019 sera mis à disposition en complément des présents livrables.



R&D ET EXPÉRIMENTATION

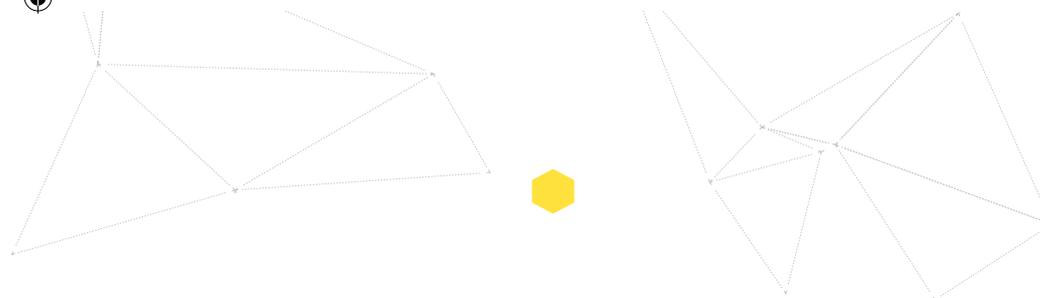
Comme tout projet expérimental, l'établissement du coût de construction est complexe. Pour **VILIAPRINT**, certains coûts fixes sont extrêmement élevés puisque, si le béton produit à ce jour ne l'est qu'en quantités infimes, chaque prototypage nécessite l'intervention des 2 robots ainsi que d'une dizaine de personnes (ingénieurs, formulateurs, opérateurs...).



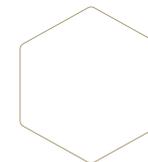
COÛT DE CONSTRUCTION ET IMPRESSION 3D VS HABITAT TRADITIONNEL

L'un des livrables du projet **VILIAPRINT** étant la définition d'un modèle technologique et économique, reproductible et déployable sur d'autres opérations, PLURIAL NOVILIA a mis en place des fichiers de chiffrages comparatifs et évolutifs entre une maison classique construite traditionnellement et une maison imprimée 3D (telle que définie dans le cadre du projet **VILIAPRINT**).

Voir les fichiers de chiffrage
en annexe



Certains industriels participent financièrement à cette expérimentation en fournissant la matière première et en faisant travailler à titre gracieux leur division R&D - en contrepartie de la participation au projet et de la communication réalisée. **Le projet VILIAPRINT dispose également du soutien de plusieurs institutions, comme la CDC* Banque des Territoires, l'USH*, la région Grand-Est et ALINOV du groupe Action Logement**, qui lui ont décerné des prix et des aides financières.



Si au début de l'expérimentation, le projet **VILIAPRINT** était estimé à plus de **4000 €/m²** habitable (contre **1500 €/m²** habitable pour une maison traditionnelle), ce coût était revenu à **2500 €/m²** en fin d'esquisse et de prototypage. L'objectif est d'atteindre **2300 €/m²** pour le projet **VILIAPRINT** et moins de **2000 €/m²** sur les opérations similaires qui seront engagées ultérieurement par PLURIAL NOVILIA ou d'autres opérateurs de la construction.

* USH : Union Sociale pour l'Habitat

* CDC : Caisse des Dépôts et Consignations





VILLIAPRINT

STRATÉGIE DE COMMUNICATION

> Le dossier a bénéficié de la communication de la CDC en tant que lauréat de l'appel à projets « Architecture de la transformation 2018 » de la Banque des territoires et de l'USH.

> En phase d'incubation, le projet est suivi et fait l'objet de la communication de la CDC et de l'USH ex : Présentation du projet au Congrès HLM 2018.

> Stratégie de communication de Plurial Novilia :

PRESSE :

- Communiqué de presse de lancement le 1^{er} juin 2018, suivi d'une conférence de presse
- Communiqué de presse en janvier 2019 sur l'état d'avancement du dossier et communication de la nouvelle esquisse
- Dossier de presse
- Insertion dans les dossiers construction 3D / innovation de la presse dès que possible
- Proposition d'une visite presse

RÉSEAUX SOCIAUX :

- Relais sur les réseaux sociaux (LinkedIn + Twitter) des différentes étapes

VIDÉOS :

- Reportage vidéo le 26 septembre de l'impression du premier mur prototype
- Reportage vidéo printemps 2019 du mur prototype et de l'équipe projet
- Reportage vidéo du suivi de chantier
- Interviews des partenaires et des institutionnels

ÉVÈNEMENTS INSTITUTIONNELS et TEAM PROJET :

- Événement autour du « Premier jet béton »
- Visite de l'état d'avancement du chantier
- Événement inaugural
- Livraison

PRIX ET TROPHÉES :

- Lauréat du Trophée de l'innovation du Grand-Est
- Lauréat et prix coup de coeur du Jury ALINOV porté par le groupe Action Logement



BILAN DE LA PHASE D'INCUBATION

En tant que lauréat choisi par un jury pluridisciplinaire parmi 11 candidats de métropole et d'outre-mer présélectionnés en février 2018 (25 projets en phase préliminaire), le projet VILIAPRINT a bénéficié d'un premier accompagnement en mars 2018 lors du Hack'Archi, un atelier d'innovation ouverte, mobilisant autour d'eux 70 étudiants de formations variées.

Cet échange a permis de faire évoluer le projet et d'intégrer plusieurs idées nouvelles, comme par exemple l'intégration des futurs occupants dans une démarche de co-conception du projet (permettant la prise en compte d'usages hyper-personnalisés), la mise en place d'une démarche de rétro-conception (permettant l'adaptation du bâti pour répondre aux changements du mode de vie de l'utilisateur), ou encore l'idée d'essaimer du mobilier urbain en impression 3D dans l'éco-quartier RÉMA'VERT®.

Le projet est entré en incubation depuis la fin du mois de mai 2018, afin de tester les solutions.

Il bénéficie d'un accompagnement en expertise et du soutien financier de la **Caisse des Dépôts**, de l'**Union Sociale pour l'Habitat** et des partenaires contributeurs - la **Fédération des Offices Publics de l'Habitat**, la **Fédération des Entreprises Sociales pour l'Habitat**, la **Fédération des Coop'Hlm**, la **Fondation Excellence SMA** et la **Fédération des Entreprises Publiques Locales** - ainsi que des partenaires institutionnels et experts

- le **ministère de la Transition Écologique et Solidaire**, le **ministère de la Cohésion des Territoires**, le **ministère de la Culture**, le **PUCA**, l'**ADEME**, le **CSTB** et l'**AFD**.

LES PRINCIPALES AVANCÉES DE LA PHASE D'INCUBATION ONT PERMIS :

- **De développer et figer un projet architectural** et fonctionnel au service de nos futurs locataires : dépôt de permis de construire entre le 15 et le 22 mars 2019.
- **De pré-dimensionner les éléments imprimés 3D** et cerner les principaux modes constructifs préalables à la réalisation de l'esquisse architecturale finalisée en décembre 2018, les études préalables à la certification à démarrer en avril 2019.
- **De Maîtriser le volet économique** du projet dont le coût a évolué à **2500 €/m²** habitable, (plus de **4000 €** en début de phase d'incubation) et sera encore à optimiser vers un objectif à **2000 €/m²**.



PIECES JOINTES :

Livrables :

- L1** • La phase expérimentale de PROTOTYPAGE
- L2** • La méthodologie d'impression 3D : guide de conception paramétrique
- L3** • Les principes de structure, dispositions constructives, mise en oeuvre
- L4** • L'esquisse architecturale
- L5** • Le modèle de contrat adapté
- L6** • La planification études, ATEX, travaux
- L7** • Le coût de construction et comparatif habitat classique
 - L7.1** • fichier Excel chiffrage 1m² de béton imprimé
 - L7.2** • fichier Excel coût de construction comparé
- L8** • La revue de communication au 28/02/2019

Plurial Novilia 
Groupe ActionLogement

agencecoste
architectures 

XtreeE[®]
The large-scale 3^d



 **DEMATHIEU
BARD**
CONSTRUCTION
DIRECTION RÉGIONALE EST
Agence Champagne

 **SOPREMA**
La qualité PRO depuis 1908

 **sixsense**
Necs


Bureau d'études fluides


SOCOTEC

Bâtiment et Travaux Publics
C.F.R.D.A
CENTRE DE RECHERCHE ET D'ENSEIGNEMENT AVANCÉ


Lycée François Arago
Lycée des métiers de l'efficacité énergétique,
du bâtiment et des travaux publics


École des Ponts
ParisTech


FFB MARNE
FÉDÉRATION FRANÇAISE DU BÂTIMENT

 **L'UNION
SOCIALE
POUR
L'HABITAT**

 **BANQUE des
TERRITOIRES** 

Reims  **GRAND
REIMS**
COMMUNAUTÉ URBAINE



Plurial Novilia 

Groupe ActionLogement

2 place Paul Jamot - CS 80017 - 51 723 REIMS CEDEX

www.plurial-novilia.fr

