



Innovation dans la Construction : L'apport des start-up pour transformer le secteur

Auteurs

Thomas Le Diouon, Président Impulse Partners

***Francois Bertière, membre de l'Académie des
Technologies***

Introduction

Le monde des infrastructures, urbaines et industrielles, fait face à d'immenses défis liés à l'optimisation des ressources, la mutation des usages, et les impacts environnementaux et sociétaux de leurs activités.

Le secteur de la construction est pointé du doigt car il tarde à renouveler son modèle afin d'intégrer ces défis. Le retard en termes de productivité, de digitalisation, d'industrialisation et d'impacts sur l'environnement est clairement identifié par rapport à l'ensemble des autres secteurs d'activité.

Les acteurs historiques du secteur en sont bien conscients et œuvrent pour y remédier. Cependant, ces mêmes caractéristiques fondamentales du secteur qui les font vivre et autour desquels ils se sont structurés sont en fait des obstacles au changement : l'organisation du marché, l'environnement réglementaire, les pratiques des métiers, les modèles économiques... La prime à l'innovation est faible dans un secteur qui est par nature concurrentiel localement et qui ne permet pas simplement les économies d'échelle.

S'il ne faut guère espérer de ruptures de la part des acteurs du marché, la tentation est d'imaginer que les start-up peuvent jouer ce rôle. En apportant un regard neuf et non biaisé sur les enjeux du secteur, les start-up peuvent bousculer les pratiques, confronter les modèles, et contribuer ainsi significativement au dynamisme de la filière, notamment dans les domaines du digital, des nouveaux modèles économiques et de l'évolution des usages. Qui seront les Uber, Google ou Amazon du BTP ? vont-ils révolutionner le secteur et changer ses pratiques ? Suivre ces start-up c'est aussi détecter les signaux faibles des ruptures technologiques – et d'une manière plus générale des innovations – susceptibles d'accélérer la nécessaire transition.

Pour répondre à cette question – et ainsi identifier les technologies à encourager, il est indispensable de bien comprendre comment les spécificités de la filière Construction sont des obstacles à l'optimisation qui s'est opérée dans les autres secteurs grâce aux apports de l'industrialisation et de la digitalisation.

Nous ferons ensuite un tour d'horizon des innovations, technologiques et non technologiques (contractuelles, d'usages) et évalueront lesquelles ont le plus grand potentiel de transformer positivement la filière, étant donné ses spécificités.

Nous verrons que parmi les start-up du secteur, la plupart ont un potentiel intrinsèque très intéressant mais que leur déploiement à grande échelle va se heurter aux caractéristiques fondamentales du secteur : la dépendance au local, la grande fragmentation des acteurs, la faible digitalisation, et le poids des réglementations.

Dans un secteur si fragmenté, nous identifierons que le premier vivier d'innovation à fort potentiel réside déjà dans l'optimisation de la productivité à l'intérieur de chacun des silos de la chaîne de valeur:

- en amont de la construction, en phase développement immobilier : les solutions big data qui s'appuient sur la digitalisation des Plans Locaux d'Urbanisme (PLU), les données disponibles en open-data (permis de construire, loyers, prix de ventes...) et qui permettent d'évaluer rapidement la faisabilité d'un projet immobilier sur un foncier donné¹

¹ Exemples de start-up : PriceHubble, LK Specialist, SpaceMaker...

- en phase conception : les outils de simulation thermodynamique permettant d'évaluer la performance énergétique d'une conception², ou encore les outils d'analyse de cycle de vie qui permettent d'arbitrer les impacts environnementaux d'une conception³
- en fourniture de matériaux plus performants et plus compatibles avec les logiques d'économie circulaire : matériaux biosourcés⁴, réemploi de matériaux de déconstruction⁵, recyclage et réduction du poids carbone (Neolithe, Greenrail, Purple Alternative Surface, Sustonable...), liants bas carbone (CarbonCure, Materrup, Mixteresting ...)
- en phase travaux : la modernisation des pratiques actuelles en introduisant sur les chantiers digitalisation et robotisation (LightYX, Civrobotics, Rebartek...), avec une tendance d'évolution des chantiers vers plus d'industrialisation de l'acte de construire, l'impression 3D béton (XtreeE) et la construction hors-site (Sustainer, Vestack...)
- en phase exploitation : la démocratisation de l'usage des capteurs iot (faible cout et facilité d'installation sans fils) et le fait que de plus en plus d'équipements (chauffage, ventilation, ascenseurs...) soient maintenant équipés de connectivité, permettent d'obtenir quantités de données sur l'usage réel des ouvrages (nombre d'occupants, températures, qualité de l'air, consommations d'eau, déplacements, etc). L'association de ces mesures physiques captées en quasi-temps réel avec des logiciels d'analyse des données permet tout un champ d'optimisation des paramètres d'exploitation : performance énergétique⁶, optimisation des espaces⁷, qualité de l'air... et d'engager la gestion du bâtiment et des infrastructures dans des logiques de maintenance préventive (voire prédictive)

Si elles ne sont pas disruptives ni transformatrices car elles ne transforment pas les modèles économiques de la chaîne de valeur, ces innovations ont l'énorme avantage de moderniser les pratiques sans bousculer l'ordre établi ; elles ont un potentiel de développement rapide à court terme, chacune n'ayant qu'à démontrer son apport en productivité, en coûts et en impacts environnementaux.

Un deuxième vivier d'innovations avec un potentiel important : l'optimisation des interfaces entre les silos de la chaîne de valeur : les innovations, généralement digitales, facilitant le transfert d'informations entre les acteurs (de nature technique, contractuelle, financière) sans perturber la nature des relations existantes (client / fournisseur / sous-traitant) :

- d'une manière évidente toutes les solutions s'appuyant sur un réel usage du BIM⁸ et permettant le transfert des informations,
- les solutions de dématérialisation d'appel d'offres permettant de pouvoir comparer des grilles de prix de manière efficace et indiscutable⁹
- les solutions de simplification des démarches Achats, et en particulier la comparaison des impacts environnementaux de manière à pouvoir faire des choix informés entre réduction carbone et surcoût matériaux¹⁰

² Exemples de start-up : Openergy

³ Exemples de start-up : VizCab, Nooco, Kompozite, Sitowie, One-Click LCA...

⁴ Exemples de start-up : Gramitherm

⁵ Exemples de start-up : CycleUp

⁶ Exemples de start-up : Deepki, hxpérience...

⁷ Exemples de start-up : Jooxter

⁸ Le BIM, en anglais « Building Information Modeling » est une méthode de gestion des projets de construction, basée sur une maquette numérique 3D contenant des données fiables et structurées.

⁹ Exemples de start-up : Saqara

¹⁰ Exemples de start-up : VizCab, OneClickLCA, Kompozite, etc

- les solutions « Building Operating System » qui permettent de piloter le fonctionnement de tous les lots techniques d'un bâtiment en mode exploitation (ascenseur, chaud/froid, fluides...) ainsi que les usages (occupation, ouverture_/fermeture des ouvrants, contrôle des stores...) afin de faire les meilleurs choix de maintenance prédictive et préventive¹¹.

Ces innovations ont l'humilité de ne pas chercher à désiloter la chaîne de valeur, mais à simplement faciliter les interfaces entre les acteurs. Elles permettent d'éviter de multiples saisies inutiles et laissent présager une maîtrise des informations tout au long du cycle de conception, construction et exploitation d'un ouvrage. Ces innovations, qui sont généralement simples à mettre en place techniquement, nécessitent pour autant une compréhension préalable par les différents acteurs des opportunités et des risques associés à une meilleure maîtrise des données : comment structurer les données ? qui est propriétaire des données ? quelles usages ? quelles bénéfices ? etc. La fragmentation et la densité concurrentielle actuelle des acteurs du marché n'encouragent guère la confiance en termes de partage d'information. On peut néanmoins espérer que la facilitation des interfaces entre les acteurs conduise progressivement à désiloter la chaîne de valeur ou au moins certains de ses maillons

Notons que la majorité de ces applications sont encore en phase d'introduction ou de développement sur le marché, et que la capacité d'adoption par le marché de ces nouveautés est très lente, du fait de cette lente montée en compétence des acteurs du marché dans leurs stratégies digitales.

Au-delà de ces innovations destinées à moderniser les pratiques du secteur, il y a une intense effervescence de start-up qui œuvrent à radicalement changer les pratiques, dépasser les limites historiques et révolutionner le secteur de la construction face aux contraintes et à l'urgence induites par la nécessaire décarbonation de l'industrie et à l'explosion de l'urbanisation dans le monde :

- construction hors-site, généralement créditée comme l'avenir de la filière, seule solution en capacité de massifier l'industrialisation de la construction avec un ensemble de bienfaits économiques / sociétaux / environnementaux
- matériaux biosourcés, le délicat exercice de faire renaître des savoir-faire et des filières oubliées et de les adapter aux contraintes et normes actuels
- économie circulaire, la prévention de la production de déchets de construction, le réemploi des produits, le recyclage ou, à défaut, à une valorisation des déchets.

On retrouve ici l'esprit « changer le monde » des start-up. Cependant nous verrons que de nombreux obstacles culturels et opérationnels limitent le potentiel transformatif de ces idées. La capacité des acteurs du secteur à consommer ces nouvelles offres innovantes est très limitée et les temps d'adoption sont si longs que la nature du financement des start-up par le capital-risque ne permet pas le temps nécessaire à ces transformations.

Enfin, notons que l'innovation dans la construction a tendance à s'exprimer sur des ouvrages neufs qui disposent de décideurs et de budgets. Cependant rappelons-nous que la construction neuve ne représente typiquement que 1% du parc bâti existant en France et dans les pays développés. Le vrai enjeu de la transition environnementale du secteur de la construction en France réside donc principalement dans sa capacité à « upgrader » les bâtiments et les ouvrages existants – qui ont généralement entre 100 et 30 années – aux standards d'aujourd'hui. Encore trop peu de solutions

¹¹ Exemples de start-up : Spinalcom

innovantes aujourd'hui s'attaquent à cette tâche immense sur laquelle les modèles économiques sont à repenser.

Périmètre étudié :

Le secteur de la construction au sens large comprend toutes les activités consistant à permettre un usage sur un terrain. Les usages principaux sont l'habitat, le bureau, les commerces, les transports (route, rail, aérien), les services (hôpitaux, loisirs, etc.), les infrastructures (énergie, eau).

Le **champ d'applications** des innovations comprend donc :

- l'amont d'une construction : l'identification d'un terrain à construire (recherche foncière), l'analyse des opportunités de ce terrain et la simulation des usages via différents scénarios de conception,
- la phase de construction : le chantier, la main d'œuvre, les matériaux, la logistique, les engins de chantier,
- l'exploitation : la vie de l'ouvrage, ses différents usages, la consommation énergétique, l'entretien et la maintenance,
- la déconstruction ou le changement d'usage: transformation de bureaux en logements, de friches industrielles en commerces, etc.

Ce champ inclut le bâtiment, les travaux publics, les infrastructures de génie civil, les infrastructures de production et de transport d'énergie et d'eau, les routes, ponts et aménagements urbains.

Le **champ des technologies** n'est pas propre à la construction et fait appel à des technologies souvent largement matures dans d'autres industries :

- des technologies du monde de la donnée :
 - o captation et analyse de données environnementales ou physiques (données de température, consommations d'énergie et d'eau, qualité de l'air, images satellite, ...)
 - o iot (internet des objets) : mesures physiques dans les matériaux (capteurs de température, de corrosion, etc.) ou pour les déformations des structures (résistance au vent...) et le suivi des usages (capteurs de présence, d'ouverture de fenêtres...)
 - o modélisation numérique, jumeaux numériques, outils de simulation et de conception faisant de plus en plus appel à l'Intelligence Artificielle (IA), Machine Learning et big data, le traitement d'image (ex : analyse de flux vidéo)
 - o l'analyse de données rendues disponibles en Open Data (logement, urbanisme, transactions immobilières, transport...)
 - o géolocalisation pour les ouvrages des grandes dimensions, routes, ponts et aussi pour la gestion des flottes de véhicules,
- des technologies du monde des matériaux physiques et de la mécanique :
 - o matériaux de construction, d'origine minérale, issus de la chimie ou biosourcés
 - o équipements de chauffage, climatisation, éclairage, ascenseurs, etc.
 - o réseaux électriques, incluant les dispositifs de production locale d'énergie (ex : panneaux solaires), ainsi que les réseaux d'eau, de chaleur ou de froid,
 - o robotique /cobotique pour assister les opérateurs sur les chantiers
 - o fabrication robotisée

- véhicules (ex : drones d'inspection, engins de chantier, engins de levage...) et leurs versions autonomes, électriques, etc.
- les innovations d'ordre juridique_ et contractuelle_ (ex : contrat de garantie énergétique, démembrement de propriété, colocation...)
- les innovations d'usages (ex : économie du partage, réemploi de matériaux ou d'équipements...)

Les enjeux du secteur : de fortes attentes de modernisation pour relever les défis de l'urbanisation et de la pression environnementale

Le secteur de la Construction fait aujourd'hui face à de multiples enjeux :

Des enjeux historiques sur lesquels la filière travaille depuis plusieurs années :

- **productivité stagnante** : le secteur peine à produire plus vite à un moindre coût, et ne peut suivre la demande. Les conséquences économiques, notamment sur le logement, sont désastreuses : le manque de logements contribue à la hausse des prix de l'immobilier, qui eux-mêmes renchérissent le coût du foncier et donc le coût de la construction.
- **disponibilité et attractivité de la main d'œuvre** : la construction est un de secteur qui s'est historiquement développé sur la base d'une main d'œuvre peu qualifiée, peu formée (nombreux intérimaires) et avec des conditions de pénibilité, de dangerosité et de précarité assez fortes (variables d'un pays à l'autre en fonction des réglementations du travail). Le secteur souffre d'un important déficit d'attractivité, et a du mal à attirer les compétences nouvelles si nécessaires à sa modernisation (data science, environnement, industrialisation, robotique...).

L'industrialisation semble la solution évidente à ce double problème de la productivité et de la main d'œuvre : construction hors-site et préfabrication permettent de produire une meilleure qualité dans des environnements plus sécurisés que des chantiers et moins dépendant des aléas de main d'œuvre ou de météo. Nous verrons plus loin que l'industrialisation de la construction est pourtant loin d'être une solution évidente.

De récents enjeux sont venus s'ajouter ces dernières années :

- **impact environnemental de l'acte de construire** : décarbonation, non artificialisation des sols, performance énergétique, biodiversité, économie des ressources et matières premières...
- **évolution des usages** : tendance d'évolution vers des usages de plus en plus mixtes (ex : commerces en pieds d'immeubles, bureaux et logements) et des terrains de moins en moins vierges (réhabilitation de terrains préalablement construits et transformation vers de nouveaux usages).
- **renouvellement du parc**, aussi bien logements qu'infrastructures.

La nécessité de loger des populations de plus en plus urbaines et de leur fournir des infrastructures à des coûts acceptables – coûts financiers et coûts environnementaux – exerce une forte pression sur le secteur, qui, peine aujourd'hui à fournir des réponses satisfaisantes : épuisement des ressources, artificialisation des sols, consommation énergétique, etc. L'industrie de la construction est aujourd'hui décriée pour son impact sur la planète.

L'acte de construire les bâtiments et infrastructures, mais surtout l'usage dans la durée des bâtiments et infrastructures construits (consommation énergétique, mobilité...) ont un impact significatif sur l'empreinte carbone de la planète et la consommation de ressources naturelles (énergie, eau...). La conception d'ouvrages doit donc faire l'objet d'une optimisation de la manière de les construire, de sa consommation de ressources durant ses nombreuses années d'exploitation en service et enfin de la manière de les déconstruire ou de les réemployer en fin de vie.

L'innovation – dans toutes ses dimensions : technologique, d'usage, juridique... – est absolument nécessaire pour changer les manières traditionnelles et permettre à l'acte de construire d'opérer sa transition vers un modèle plus soutenable et plus acceptable pour les populations.

Constat : le secteur est en retard

Le secteur de la construction est une de plus anciennes industries au monde. Les pyramides d’Egypte, les aqueducs romains, les cathédrales sont les témoins de ces prouesses qui transcendent les âges. De nombreuses innovations sur les matériaux (l’acier, le béton armé, les matériaux composites...) et sur les modes constructifs (la précontrainte, la préfabrication, les tunneliers...) ont permis au fil du temps de réaliser des ouvrages de plus en plus performants.

De nos jours encore, les acteurs de la construction réalisent des prouesses et font preuves d’une grande capacité d’innovation sur les ouvrages : tunnel sous la Manche, viaduc de Millau, Burj Kalifa, etc. témoignent d’une impressionnante capacité à repousser les limites de la physique, à optimiser les caractéristiques des matériaux et à maîtriser les contraintes de l’environnement.

Cette innovation dans les produits (=des ouvrages dont les caractéristiques sont de plus en plus performantes) masque cependant un cruel manque d’innovation dans les manières de les construire et dans les modèles économiques: le chantier typique d’aujourd’hui ressemble cruellement au chantier d’il y a 50 ans et a peu évolué en termes de productivité, de pénibilité pour la main d’œuvre et de nuisances pour les riverains.

Le secteur est largement pointé du doigt pour son retard en termes d’industrialisation (amélioration de la productivité, de la qualité, de la sécurité des chantiers, préfabrication et construction hors site...) et en terme de digitalisation (continuité numérique de la conception jusqu’à l’exploitation).

La fragmentation des acteurs que nous évoquerons plus loin limite la capacité d’investissement dans l’innovation.

Comment expliquer ce retard : les freins à l'innovation dans la construction

Le secteur de la construction est parfois comparé aux secteurs de la construction navale et de l'aéronautique avec qui il partage de nombreuses analogies : « bâtiments », systèmes complexes, grande taille, séries industrielles relativement faibles.... Ces secteurs font une utilisation intensive de la modélisation numérique, de la fabrication robotisée et des assemblages préfabriqués et industrialisés.

Comment expliquer que le secteur de la construction soit si en retard par rapport à la construction navale et l'aéronautique ?

La dépendance au local

La principale différence de la construction est sa dépendance au foncier (contrairement à un bateau ou un avion un immeuble ne se déplacera pas) et aux ressources locales (disponibilité de matériaux et de main d'œuvre). A bien des égards en fait le secteur de la construction peut se comparer à l'agriculture (autre secteur qui peine à se moderniser, en partie pour les mêmes raisons).

Ce caractère « local » a de multiples conséquences sur la structuration de la filière :

- **Une « affaire d'état »** : depuis les premières civilisations sédentaires, la construction est une affaire d'état : construire, c'est avant tout obtenir les autorisations de s'inscrire durablement dans un environnement foncier, normatif, politique, écologique. La chaîne de valeur de la construction s'est ainsi construite autour de cet impératif (répartition des responsabilités, architecte, maîtrise d'œuvre, constructeur, promoteur, assureur...), normes locales (souvent au niveau national voire régional ou même municipal), règles spécifiques du plan local d'urbanisme (au niveau de la ville), pratique de construction régionales liées à la disponibilité historique de matériaux (ardoise, brique, etc.), instances de décisions locales (permis de construire)... tout dans la construction gravite autour du local.
- **Un emplacement unique et spécifique** : un navire peut être construit dans un chantier naval à l'autre bout du monde, un avion peut être industrialisé dans des usines mais chaque bâtiment de construction sera nécessairement local du fait de sa localisation propre, de son orientation par rapport à la lumière, de son vis-à-vis, de son exposition au vent, etc. Deux constructions jumelles et apparemment identiques seront en fait forcément différentes par la géotechnique de leur sous-sol, par l'ombre que fera l'une sur l'autre, par leurs voies d'accès, par l'emplacement des grues pour les monter, et bien d'autres aspects qui vont nécessiter de faire deux études, deux permis de construire et deux chantiers là où on aurait volontiers industrialisé ces étapes.
- **Une fragmentation des acteurs du marché** : La prépondérance de ce caractère « local » explique aussi une forme de protectionnisme dont bénéficie le secteur de la construction : contrairement aux secteurs de l'aéronautique ou de la construction navale (ou même de l'agriculture), la construction n'est pas soumise à la concurrence étrangère (elle l'est un peu en pratique dans les zones frontalières où des acteurs étrangers voisins peuvent intervenir) : la nécessité de maîtriser le contexte politique local (plan d'urbanisme, normes, permis de construire, taxes...) puis de gérer un chantier impliquant une main d'œuvre importante qui doit se déplacer sur le site-même exclut toute forme de globalisation. La conséquence de cette prépondérance du « local » est la très forte fragmentation des acteurs du secteur : l'essentiel des entreprises de travaux sont des TPE, il y a peu d'économie d'échelle à

regrouper des compétences et à industrialiser des pratiques d'un chantier à l'autre. La France compte 350 000 entreprises de construction employant 1,3 million de salariés, la taille moyenne est donc de 3 à 4 personnes par entreprise. Même les grands groupes multinationaux sont en pratique des regroupements de centaines de structures locales qui conservent une grande part d'autonomie et qui chacune opère localement, chantier par chantier, avec des sous-traitants locaux, face à une myriade de petits concurrents locaux. Cette fragmentation de fait ne crée aucune incitation à transformer la filière et ne permet pas aux acteurs qui innovent (ils sont nombreux) de capitaliser sur leur investissement au-delà de leur marché local. Aussi personne n'investit dans des innovations qui bénéficieront à l'ensemble de la chaîne, de peur de n'en capter qu'une infime valeur à leur niveau.

- **Le poids de la main d'œuvre locale et ses implications sociétales et politiques** : le BTP représente 6% du PIB mondial¹², fait vivre des millions d'employés et, parce qu'il s'appuie en partie sur une main d'œuvre peu qualifiée, permet d'entretenir une dynamique locale sur le marché du travail. Ce n'est pas un hasard si après chaque grande crise, les responsables politiques décident des grands travaux d'infrastructures afin de relancer l'économie¹³. Le secteur de la construction pèse donc significativement dans les enjeux politiques locaux. Innover (en industrialisant, en robotisant, en important des matériaux, etc.) c'est menacer de déséquilibrer des situations locales, et il est donc naturel que les systèmes en place (élus, fédérations, syndicats...) opposent une forme de résistance à trop d'innovation dans ce domaine. Seule l'urgence climatique pousse actuellement les dirigeants politiques du monde entier à franchir une ligne qu'ils n'avaient jusque-là jamais franchie, en imposant des exigences de plus en plus drastiques ; mais le temps politique ne permet dépendant pas d'aller aussi vite qu'il le faudrait et de bien nombreuses directives soi-disant fortes sont en fait limitées dans leur application ou tellement négociées qu'elles en ont perdu leur substance.
- **Une organisation du marché non verticalisée, un modèle économique en « mode projet »** : la fragmentation du marché requiert des agrégateurs : les entreprises de construction sont avant tout des assembleurs d'une chaîne de valeur absolument non verticalisée. C'est un métier dont la valeur réside dans la capacité à gérer un « projet » en coordonnant toute une chaîne de sous-traitants et fournisseurs. Le client n'achète pas un « produit fini » mais la capacité à délivrer un projet (dans les temps, les délais et avec la qualité attendus) sur un site donné. Les grands projets à forts enjeux financiers (infrastructures, grands tunnels, immeubles de grande hauteur...) permettent de développer des innovations au niveau du projet (ex : robotisation, logistique). Cependant le modèle économique en « mode projet » ne crée aucune incitation à investir dans l'innovation au-delà d'un projet ; les équipes projets composées de patchworks de sous-traitants et fournisseurs sont dissoutes après chaque chantier ; en pratique les innovations sont mal capitalisées d'un projet à l'autre.
- **Une industrialisation difficile** : ce caractère « local » est un frein énorme à toute tentative d'industrialisation de la construction car il induit des contraintes réelles et aussi des modes d'organisation « locaux » qui empêchent toute industrialisation à grande échelle. Toutes les tentatives d'industrialiser la construction – et fort heureusement il y en a des très nombreuses qui fonctionnent depuis des années – sont limitées dans leur ampleur et doivent intégrer et laisser une grande part à la nécessaire adaptation locale qui elle reste généralement faite de manière artisanale (conception, permis de construire, assemblage,

¹² France : 8% du PIB, 1,3 million de salariés ; Etats-Unis : 4% du PIB, 7,5 millions de salariés ; Japon : 5,5% du PIB, 3 millions de salariés ;

¹³ barrage Hoover avec le New Deal de Roosevelt en 1929, plan Marshall pour la reconstruction de l'Europe en 1947, Plan de relance France 2030 après covid, etc

etc.). On peut industrialiser des briques ou des tuiles mais il faudra ensuite les assembler localement, on peut même construire des morceaux d'immeubles entiers en usines de préfabrication (ex : modules de logements ou construction bois) mais on devra obligatoirement les avoir fait accepter localement (permis régissant la hauteur, l'aspect de la façade, etc) et les assembler localement.

Ce caractère « local » de la construction, et les multiples conséquences que nous avons vues qu'il implique, constitue le principal frein à l'innovation du secteur.

Toute innovation cherchant à industrialiser la construction doit pouvoir démontrer sa capacité à adresser cet incontournable du « local » :

- en utilisant des matières premières locales,
- en rentrant dans le cadre des réglementations locales existantes,
- pouvant être mis en œuvre par la main d'œuvre locale et par des entreprises locales,
- en réglant le problème du transport de l'usine au site
- etc.

A titre d'exemple, les techniques d'impression 3D béton¹⁴ sont une des innovations majeures de la dernière décennie, qui laissent présager un potentiel important d'industrialisation. Cependant, leur développement est encore largement freiné par la qualité spécifique de la rhéologie exigée du matériau (afin de pouvoir l'imprimer), par les niveaux de technicité requis pour mettre en œuvre la robotisation et par l'absence de normalisation des structures imprimées en béton. Les promoteurs de l'impression 3D trouveront un marché s'ils développent des solutions permettant à toute entreprise « standard » d'imprimer un matériau quasi-standard disponible partout localement et validé par les réglementations. Le succès de l'innovation ne réside pas dans son excellence technique mais dans son universalité et son caractère adaptable localement. L'avenir de ces techniques repose ainsi sur leur capacité à déployer mondialement un réseau d'imprimantes 3D, intégrées dans les chaînes de valeur locales (par exemple chez des préfabriquants béton), avec des licences technologiques permettant aux architectes et industriels locaux de pouvoir réaliser leurs propres créations (et dont ils géreront localement les aspects certifications et assurabilité).

Autre exemple d'innovation: la construction hors-site¹⁵. A l'inverse de l'impression 3D, le concept n'est pas nouveau (les Romains utilisaient déjà des moules en béton pour leurs aqueducs et tunnels). Lors du boom des gratte-ciel à New York dans les années 20, l'Empire State Building (1930) a été assemblé en seulement 13 mois à partir d'éléments préfabriqués. Plus rapide, plus précise, plus sûre, plus respectueuse de l'environnement, la construction hors-site a a priori tous les avantages. Comment expliquer que 90 années après l'Empire State, un immeuble d'envergure similaire¹⁶ aux Etats-Unis soit encore construit par des méthodes traditionnelles « sur-site » et prenne 5 années à construire ? C'est tout le paradoxe de la construction hors-site qui malgré tant d'avantages supposés peine à s'imposer. La segmentation des métiers et le mode de consultation des entreprises privilégie une approche où l'architecte et les bureaux d'études vont concevoir le projet en amont, et les

¹⁴ L'impression 3D béton est une méthode de fabrication additive adaptée aux matériaux à base de ciment, utilisée pour construire des bâtiments ou fabriquer des composants de construction. L'impression 3D béton permet notamment de réaliser des formes radicalement nouvelles, impossibles à obtenir avec les coffrages traditionnels.

¹⁵ La construction hors-site est un modèle d'industrialisation qui consiste à fabriquer en usines les éléments de structure, de façades et les équipements d'un bâtiment, puis les acheminer sur le chantier pour les y assembler.

¹⁶ Tour Salesforce à San Francisco, 326m , achevée en 2017.

entreprises seront choisies par consultation à la fin du travail d'étude. Industrialiser en hors-site aurait exigé d'intégrer les entreprises dès la conception afin d'optimiser les choix de conception sur les possibilités de fabrication. La construction hors-site chamboule notamment la culture du prix : parce qu'elle impose de passer par un industriel avec une capacité de production locale, la mise en concurrence est souvent impossible du fait justement que c'est l'industriel local qui va fournir les matériaux. D'où les réticences des décideurs à sortir du système du prix bas garanti par la pratique d'appels d'offres en construction traditionnelle.

Zoom 1 : Une industrialisation difficile

Quels enseignements tirer de l'échec de Kattera ?

Souvenez-vous : en 2015, des entrepreneurs de la Silicon Valley fondent Kattera avec l'ambition de révolutionner la construction via un modèle totalement intégré et digitalisé. Cette promesse attire aussitôt les plus grands investisseurs de la « tech » qui voient dans l'industrie de la construction un gisement d'inefficacités à bousculer.

Comment expliquer que 6 années plus tard et après 2 milliards de dollar investis, l'aventure Kattera s'arrête brusquement ?

Des investisseurs « tech » qui ne connaissent pas les complexités des métiers de la construction ont rêvé de répliquer les success stories de AirBnB ou de Uber; notons que *l'investisseur principal de Kattera n'est autre que Softbank, l'investisseur derrière le fiasco de WeWork*

L'intégration verticale dans la construction, cela peut se décréter, mais ce n'est pas si simple à mettre en œuvre : rappelons que l'industrie de la construction est extrêmement fragmentée, qu'elle est soumise à de multiples réglementations et pratiques locales et que les coûts et la disponibilité des matériaux et de la main d'œuvre sont en constante évolution.

Il y a certes un immense potentiel d'optimisation dans la construction, mais la référence aux modèles industriels intégrés (du type Tesla) n'est pas valide. Les économies d'échelle que Kattera imaginait retirer de sa chaîne d'approvisionnement intégrée se sont heurtées aux aléas de la logistique, aux difficultés d'intégration des technologies, à l'incapacité à estimer les coûts et les variations de qualité des produits d'une région à une autre (notamment du bois).

Ce dont a vraiment besoin la construction, ce n'est pas d'intégrer à marche forcée cette chaîne de valeur fragmentée et complexe, mais plutôt d'accélérer l'interconnexion de ces multiples acteurs en fluidifiant leurs interfaces et en s'appuyant sur des standards.

Le mérite de Kattera à cet égard aura été de pousser la construction modulaire et d'explorer un modèle de plateforme digitale intégrant l'ensemble des étapes, de la conception à la production.

La construction *post-Kattera* demeure une formidable vivier d'opportunités pour les start-ups « tech » qui sauront développer des modèles d'affaires visant à simplifier en digitalisant la gestion des interfaces (conception, achats, logistique, matériaux, sous-traitance, chantiers, exploitation...).

Espérons surtout que l'échec retentissant de Kattera ne freinera pas les entrepreneurs qui développent des innovations pour une approche optimisée de la construction. Tous n'ont pas les milliards de Softbank, mais nombreux ont des idées.

Le poids des réglementations

L'industrie de la construction est aussi régie par un corpus de règles, codes, normes et pratiques, qui sont tout à fait légitimes car elles permettent de garantir la qualité d'une construction (et donc sa sécurité pour les occupants et les riverains : tenue structurelle, chute, incendie, inondation...) et son assurabilité (et donc sa valeur en tant qu'actif économique). L'ensemble des pratiques de la profession est réglementé, chaque nouveau matériau doit être testé, tout nouveau mode constructif doit être certifié.

Innover c'est modifier les pratiques, donc introduire un risque. Même si la réglementation prévoit des possibilités pour s'en affranchir ponctuellement à titre expérimental¹⁷, innover dans la construction implique bien souvent un parcours du combattant réglementaire pour lequel seuls quelques grands acteurs sont armés et qui induit nécessairement des délais et un surcoût de validation réglementaire – efforts à répliquer sur tout nouveau marché car les réglementations sont généralement locales (nationales voire régionales).

Les réglementations sont donc communément perçues comme un frein à l'innovation.

Paradoxalement, ces mêmes réglementations peuvent parfois être un moteur à l'innovation lorsqu'elles imposent des critères de performance ; c'est notamment le cas depuis la dernière décennie où les réglementations énergétiques ont stimulé fortement le secteur bâtiment en imposant des cibles de performance énergétique de plus en plus fortes et en incitant à limiter le poids carbone des constructions. Le niveau d'ambition est devenu si élevé que les solutions classiques ne sont plus possibles, cela impose donc aux acteurs du secteur à repenser les modes constructifs et les matériaux.

Une industrie encore trop peu digitalisée

La fragmentation des acteurs du marché explique la très faible maturité digitale du secteur. Si les outils bureautique et smartphone sont comme ailleurs très présents, peu de solutions métiers existent pour piloter les activités de construction, trop peu d'opérations terrain sont digitalisées, la plupart des salariés de la profession ne disposent même pas d'identité numérique professionnelle (adresses emails).

Maquette numérique, VR, AR (Réalité virtuelle et Réalité Augmentée), IoT (Internet des Objets), AI (Intelligence Artificielle) et bien d'autres applications et innovations révolutionnent de plus en plus les outils et procédures de la construction. Cependant le secteur est si fragmenté qu'aucun outil n'est utilisé universellement par tous les acteurs ; les standards informatiques (langages communs décrivant les objets tels que des poutres, les murs, les matériaux) ne sont pas définis et encore moins interfaçables à l'international. En conséquence les innovations peinent à se déployer massivement dans toutes les entreprises de la chaîne de valeur, même lorsque leur impact est démontré.

Zoom 2 : quel potentiel pour les jumeaux numériques ?

L'exemple de l'adoption de la maquette numérique BIM illustre bien les limites du secteur :

Le BIM, en anglais « Building Information Modeling » est une méthode de gestion des projets de construction, basée sur une maquette numérique 3D contenant des données fiables et structurées. Le BIM permet le partage d'informations tout au long du cycle de vie d'un bâtiment par l'ensemble

¹⁷ En France, l'Appréciation Technique d'Expérimentation - ATEEx - est une procédure d'évaluation technique formulée par un groupe d'experts sur tout produit ou procédé innovant

des acteurs et intervenants d'un projet de construction : architectes, économistes, bureaux d'études, entreprises...

Le travail en maquette numérique permet de gagner du temps en cas de modifications du projet : la mise à jour du dessin en plan est instantanément répercutée sur le reste des vues et pièces graphiques, mais surtout sur l'ensemble des quantitatifs des composants concernées (superficie pièces, mètres linéaires de cloisons sèches, surface des faux-plafonds, doublages, etc.). La maquette numérique va également permettre de détecter plus tôt, dès les phases amonts d'un projet, les interférences au niveau des interfaces entre les divers lots d'un projet (par exemple un mur béton qui n'est pas dimensionné pour laisser passer la ventilation).

Le BIM a largement démontré sa capacité à faire gagner du temps et éviter des erreurs coûteuses. Parce qu'il peut recenser toutes les informations de modélisation physique du bâtiment et de ses équipements, de fonctionnement des équipements et d'usages, le BIM peut aussi devenir l'outil de gestion du bâtiment, sur toute la durée de l'exploitation du bâtiment jusqu'à sa fin de vie et sa déconstruction.

Cependant, tant que tous les acteurs n'utilisent pas le BIM, il perd toute sa valeur. Les investissements fournis par les acteurs qui ont digitalisé leurs informations seront « gâchés » par les acteurs qui opéreront des modifications sans mettre à jour le modèle.

L'imposition du BIM ne doit donc pas dépendre du bon vouloir des acteurs individuels, mais être une décision de filière, c'est-à-dire des états eux-mêmes. Ce n'est un choix simple car cela nécessite que tous les acteurs, et notamment les plus petits, investissent dans des outils, dans des compétences, dans la formation, et dans des pratiques qu'ils ne maîtrisent pas. L'innovation prend à nouveau une dimension politique forte.

L'adoption du BIM ne se fait pas à la même vitesse selon les pays. Le Royaume Uni, Singapour et les pays scandinaves sont les plus avancés et l'ont déjà rendu obligatoire dans leurs projets publics. D'autres pays, comme la France, se contentent de « fortement le recommander » ce qui ne permettra jamais d'atteindre l'ensemble des acteurs de la filière.

Les techniques d'intelligence artificielle se diffusent dans de nombreux domaines d'activité et la construction et l'immobilier ne font pas exception.

Dans un secteur plutôt réputé pour ses pratiques historiquement conservatrices, l'IA¹⁸ révolutionne drastiquement les étapes de conception d'une nouvelle construction, l'univers des transactions immobilières ainsi que la maîtrise des usages d'un bâtiment ou d'une infrastructure.

La filière de la construction est un terrain tout particulièrement propice à l'usage de l'IA :

- les processus sont reproductibles mais les objets sont tous différents (chaque construction, chaque bien est un prototype, chaque occupant est différent)
- les données sont de plus en plus disponibles, via les capteurs, l'open-data et les capacités accrues de traitement d'images
- les enjeux sont immenses en termes de montants d'investissement, de quantités de matériaux et ressources et d'impact sur de longues années, d'où un vrai apport de techniques d'IA permettant d'optimiser la conception et les usages.

¹⁸ IA : intelligence artificielle

Qui sont les acteurs de l'innovation : les grands groupes constructeurs et ingénieristes, les industriels, les PME/PMI ou les start-up ?

Les **PME/PMI**, qui constituent le gros des effectifs du BTP, n'ont pas le temps ni la taille critique pour innover, même s'il y a beaucoup d'exceptions à cette affirmation. C'est dommage car ce sont eux qui sont au contact du terrain et au plus proche des problématiques à résoudre.

Si les **grands groupes** constructeurs, ingénieristes et grands cabinets d'architectes innover en interne sur leurs projets, ces innovations sont rarement déployées à l'extérieur. Toujours ce syndrome du silotage de la chaîne de valeur. De plus, à chaque nouveau chantier, les compteurs sont remis à zéro. Aussi, les initiatives testées sur une opération ne sont pas pérennisées sur le chantier suivant. Et en regard de la taille des groupes qui innover, l'innovation ne représente qu'une part minime.

La plupart des grands groupes ont aussi mis en place des dispositifs d'open-innovation¹⁹. Ces initiatives sont très positives pour la transformation du secteur car ils permettent de confronter l'entreprise à l'externe et de stimuler l'entrepreneuriat ; cependant, force est de constater que leur impact en termes de déploiement opérationnel des innovations reste très limité, et que le focus de ces initiatives est souvent mis sur l'image et l'attractivité RH.

Les **start-up** innover, car c'est leur raison d'être et une condition pour leur développement et leur survie. Revers de la médaille, elles n'ont pas assez accès aux marchés qui pourraient être intéressés par ces innovations, car elles ne les connaissent pas toujours, et ces marchés ont une très lente capacité d'adoption de ces nouvelles technologies.

Les **industriels fabricants de matériaux et équipements** développent de plus en plus de solutions qui se rapprochent de la construction hors-site. Mais, ne l'oublions pas, l'innovation peut constituer un risque. Celui de payer plus cher. Ou, tout simplement, celui d'une perte de temps. Couler du béton sur chantier est très rentable. Le matériau est peu onéreux, les outils de mise en œuvre sont amortis et les techniques maîtrisées. Si l'on souhaite industrialiser cette partie du chantier – donc innover dans la construction, il faut investir massivement en amont pour permettre la réalisation hors-site de sous-ensembles. Éléments qu'il faut ensuite transporter avec tous les aléas que cela comprend. A commencer par les risques de fissuration. De plus, chaque bâtiment est différent, car la localisation est différente, car le climat est différent, car le sous-sol est différent. Un chantier gère les aléas en continu²⁰. L'approche hors-site impose que tout soit prévu à l'avance. Délicat, dans ce contexte, de réaliser des économies d'échelle. Mais il y aura de plus en plus de hors site dans le futur, puisque c'est une réponse intéressante au déficit de main d'œuvre et un levier de décarbonation.

¹⁹ L'open innovation consiste, pour une entreprise, à penser son innovation et sa R&D, non plus d'un point de vue fermé, mais en intégrant des collaborations extérieures avec d'autres entreprises ou partenaires.

Concours, hackathon, incubateur de start-up, intrapreneuriat, fonds de corporate venture...

²⁰ Les aléas ne sont pas dû à une forme d'amateurisme des acteurs de la filière, mais véritablement à son mode d'organisation : conditions climatiques, nature du sol, démarches administratives, vol de matériaux ou de matériel, inspection technique (ex : sécurité incendie) exigeant des modifications de dernière minute. Si ils peuvent être minimisés et anticipés, ils sont cependant inévitables.

Les **Etats** accompagnent les évolutions du cadre réglementaire et des normes à travers des centres de techniques²¹ qui testent et certifient les nouveautés.

Enfin, on peut citer les **assureurs**, qu'on n'attendrait pas forcément ici. Ces professionnels sont désormais plutôt favorables à l'innovation, car elle peut contribuer à réduire la sinistralité dans la construction ou les dommages à l'environnement. Et ainsi réduire la facture finale à payer.

²¹ France : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Cerema, Ademe Centres Techniques Professionnels ; Royaume-Uni : Transport Research Laboratory ; Etats-Unis : National Institute of Standards and Technology, Federal Highway Administration ; Japon : Japan Testing Center for Construction Materials

Le financement de l'innovation dans le secteur de la construction ?

La R&D

Historiquement les efforts de R&D du secteur de la construction se sont essentiellement focalisés, avec succès, sur des innovations plutôt incrémentales : le développement de nouveaux matériaux, de nouveaux matériels et équipements, de nouveaux modes constructifs, l'amélioration de la productivité et de la sécurité des chantiers.

Comme nous l'avons vu précédemment l'introduction puis la diffusion d'innovations sur le marché sont coûteuses et lentes, et la prime à l'innovation faible. Si les grands leaders internationaux de la construction mettent en avant leurs centres de recherche, il faut cependant constater que leurs efforts de R&D restent extrêmement faibles en comparaison d'autres industries²²:

- leaders internationaux constructeurs : 0,1% du chiffre d'affaire en Europe, 0,5% au Japon
- leaders internationaux industriels des matériaux : 0,5 à 1,1% du chiffre d'affaire
- leaders internationaux industriels des équipements : 2 à 5% du chiffre d'affaire.

Rappelons que ces grands leaders²³ ne sont pas du tout représentatifs des pratiques du secteur, leur part de marché reste faible et la plupart des acteurs sont des entreprises de taille moyenne ou petite, qui elles n'ont aucune capacité d'investissement.

Naturellement, face aux enjeux du secteur et à la difficulté grandissante de faire accepter de nouvelles constructions, l'essentiel des efforts d'investissement R&D de ces grands groupes sont maintenant orientés vers la « sustainability », la décarbonation de la construction et l'amélioration des impacts environnementaux. Au vu des budgets investis cependant, il ne faut pas espérer des miracles sur ce volet.

Les start-up

Fait nouveau depuis une dizaine d'années, les start-up viennent apporter au secteur un vrai dynamisme. Le mode de financement des start-up, c'est d'investir à risque des montants initialement modérés (de l'ordre de 100 à 300k€ par start-up, *seed money*, l'amorçage) afin de financer le développement initial d'une technologie et de réaliser des premières applications afin d'en démontrer le potentiel. L'écosystème a ainsi vu émerger dans les années 2014 – 2017 un certain nombre de start-up qui ont été les premières à se confronter aux acteurs du marché et ont permis une véritable prise de conscience et acculturation de ce nouveau type d'innovation. Cependant il n'existait alors aucun fonds d'investissement spécialisé construction/infrastructures/immobilier et les fonds généralistes étaient réticents à rentrer sur le marché complexe de la construction. Ces start-up pionnières ont donc généralement eu du mal à trouver des fonds pour continuer leur croissance et n'ont pu se développer qu'au prix d'efforts intenses d'éducation du marché et de conviction dans l'avenir.

Les fonds de venture capital spécialisés construction/infrastructures/immobilier

L'importance grandissante des enjeux de décarbonation de la construction ont mis en lumière la difficulté du secteur à se réinventer. Il n'en fallait pas plus pour que les grands argentiers mondiaux décident d'investir un secteur qu'ils ont jugé de l'extérieur comme largement sous-optimisé et donc

²² dans l'automobile les investissements R&D sont de l'ordre de 5 à 8% du chiffre d'affaire

²³ VINCI Construction, leader sur le marché français, a une part de marché de 3%. Bilfinger & Berger, leader sur le marché allemand, a une part de marché de 5%. Les 5 plus gros constructeurs japonais (Obayashi, Kajima, Shimizu, Taisei, Takenaka) ont une part de marché cumulée de 15%.

une proie idéale pour des technologies de digitalisation. Les années 2018 et les suivantes ont ainsi vu fleurir plusieurs fonds d'investissements dédiés à la transformation à marche forcée du secteur. Les états, régions, villes ont aussi largement abondé cette tendance, parfois en créant leur propre fonds d'investissement.

Les fonds de Corporate Venture

Face à cette financiarisation de l'innovation dans les start-up, les grands groupes constructeurs, ingénieristes ou industriels, ont eux-mêmes mis en place des fonds d'investissement (« Corporate Venture »). L'objectif n'étant généralement pas le gain financier mais la maîtrise du développement de technologies susceptibles de venir perturber leur marché. Le principe est simple mais en pratique son application dans des grands groupes hiérarchisés est complexe (pas de culture « venture », décisions lentes et politiques, potentiels conflits d'intérêts en étant à la fois investisseur et client/fournisseur de la start-up, etc.).

Cet afflux soudain de financements « UrbanTech » (PropTech, ConTech, Climate Tech, Energy Tech & Mobility Tech) a contribué à l'émergence de nouvelles start-up, souvent autour des sujets « à la mode » qui attirent les investisseurs (blockchain, IA, Climate, etc.).

Cependant, la capacité des acteurs du secteur de la construction à consommer ces nouvelles offres reste limitée et les temps d'adoption sont très longs. Les financements n'ont pas d'impact pour accélérer cette adoption²⁴. Après quelques années, force est de constater qu'à part quelques fonds qui sont pilotés par de vrais connaisseurs du secteur, la plupart des autres fonds ont investi, parfois massivement, dans des start-up qui sont certes intéressantes mais qui sont encore loin d'atteindre les promesses de transformation annoncées²⁵.

²⁴ On l'a vu dans le cas de Kattera qui malgré \$2Md de financement n'a pas su trouver un modèle économique viable.

²⁵ Il est délicat d'évaluer la performance financière d'une start-up. La plupart des start-up ne publient pas leurs bilans (chiffres d'affaires et marge) et préfèrent communiquer sur les fonds levés, la valorisation théorique et leur effectif. Les fonds d'investissement ne publient la rentabilité des opérations qu'au niveau d'un portefeuille de plusieurs start-up et généralement après la clôture du fonds. Certaines start-up françaises comme Namr ou Energisme ont cependant fait le choix de s'introduire en bourse, et les chiffres publiés déçoivent et démontrent la très faible capacité d'adoption de ces nouvelles technologies par le secteur.

Comment les start-up stimulent l'innovation dans le secteur ?

Nous avons vu qu'historiquement les efforts de R&D du secteur de la construction ont principalement été focalisés, avec succès, sur le développement de nouveaux produits (matériaux et équipements plus performants, plus respectueux de l'environnement, plus facile à mettre en œuvre, etc.).

Le développement de nouveaux produits ou procédés de construction exige des années d'essais (ex : résistance au feu) et nécessite d'importants investissements (industrialisation, certification...) que seuls les industriels peuvent supporter. Peu de start-up se sont lancées sur ce créneau, à l'exception notable de solutions d'impression 3D béton, de robotique (drones, exosquelettes) et de construction modulaire.

Là où les start-up excellent et contribuent significativement à l'évolution de la filière, c'est dans les domaines du digital (où elles apportent des compétences data science), des nouveaux modèles économiques (marketplaces) et de l'évolution des usages (économie du partage, réemploi...).

Les nouveaux enjeux du secteur en termes de digitalisation nécessitent des compétences *data science* que la filière a du mal à attirer. Les start-up sont donc devenues un vrai moteur et une vraie bonne nouvelle pour les acteurs traditionnels.

Les start-up opérant dans le secteur sont généralement décrites dans les catégories suivantes :

- les ConTech (pour « construction tech »), les start-up opérant dans la conception, la construction, les matériaux, les chantiers et leur logistique, la déconstruction des infrastructures
- les PropTech (pour « property tech »), francisés parfois sous des termes abscons : ImmoTech ou encore Realestech, les start-up opérant dans l'immobilier une fois qu'il a été construit, pour garantir une meilleure performance (d'usage, énergétique ou financière) ou permettre un partage des espaces (colocation, coworking...)
- Climate Tech, les start-up qui s'attaquent directement à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, par exemple pour capter des émissions industrielles lors de la fabrication des matériaux de construction, mais aussi qui proposent des solutions pour réduire les impacts du changement climatique sur l'espace urbain (prévisions d'inondations, détection de pollutions...)
- Energy Tech et Clean Tech, les start-up qui optimisent la consommation d'énergie ou la production d'énergies renouvelables
- Mobility Tech, les start-up travaillant dans la mobilité dont les infrastructures ont des impacts en termes de construction (ex : bornes de recharges pour véhicules électriques)
- plus indirectement les Fintech (pour « Finance tech ») et les Insurtech (pour « insurance tech ») qui peuvent opérer dans les opérations de financement de la construction, des transactions immobilières
- le terme UrbanTech est parfois utilisé pour résumer l'ensemble de ces catégories.

Le panorama des technologies à même de transformer le secteur

Il y a un immense potentiel technologique et de multiples nouveaux usages. A chacune des étapes d'une construction, un large panel de solutions innovantes permettent d'optimiser la productivité, la sécurité, la performance environnementale et la qualité finale de l'ouvrage.

Les exemples cités ci-après permettent d'appréhender les leviers de transformation de la filière :

Amont de la construction		Construction				Exploitation			
Développement immobilier	Conception	Matériaux	Construction hors-site	Logistique	Chantier	Suivi des usages	Performance en exploitation	Rénovation, évolutivité	Fin de vie, déconstruction
- Données foncières et d'urbanisme - Simulation technico-économique	- Simulation impact environnement / couts - Maquette numérique - <i>Generative design</i>	- Bas carbone - Systèmes constructifs - Formulations bétons - Économie circulaire	- Impression 3D - Modulaire	- Optimisation - Services	- Robotique - <i>Digital apps</i>	- Energie - Occupation - Confort, qualité de l'air, acoustique	- Système d'exploitation - Maintenance prédictive et préventive	- Scan3D - Audit (énergétique...)	- Réemploi - Recyclage - Dépollution

Toutefois, il est à noter (et à regretter !) que la plupart de ces applications sont encore en phase d'introduction ou de développement sur le marché, et que la capacité d'adoption par le marché de ces nouveautés est très lente.

Amont de la construction

Développement immobilier, analyse de la potentialité d'un site

La digitalisation des données d'urbanisme permet de constituer d'immenses bases de données sur les territoires : plans d'urbanismes, caractéristiques de chaque parcelle, zones constructibles, zones inondables, permis de construire, noms des propriétaires, images satellites, images *street view*, etc. En parallèle les données de prix de vente sont de plus en plus accessibles par l'intermédiaire des offres de ventes et des enregistrements notariés. Il devient donc possible d'exploiter ces données afin d'assister les métiers du foncier dans la recherche, l'évaluation et l'évolution du potentiel parcellaire (bâti ou non bâti).

- Automatisation de la recherche du foncier à partir des caractéristiques recherchées et en fonction des données disponibles sur le territoire (informations réglementaires, données sur l'environnement)
- Simulation de différents scénarii de constructibilité et calcul automatique de la valorisation potentielle de ce foncier grâce à l'analyse d'un très gros volume de données issues des comparables.

Exemples de start-up

Plusieurs start-up sont actives sur ce champ.

La Place de l'immobilier (France) est un des pionniers historiques de la *smart data* immobilière, en créant une base de données d'immeubles regroupant l'ensemble des superficies et des natures, les propriétaires, les occupants et l'ensemble des opérations (ventes, locations, restructurations, commercialisations...). L'analyse de ces informations permet aux acteurs du territoire de prendre de meilleures décisions.

PriceHubble (Suisse) exploite le big data et de l'IA²⁶ pour estimer le lien entre les caractéristiques d'un actif, sa localisation, sa valeur (en termes de prix de marché ou de loyer de marché).

LK Spacialist (France) modélise les PLU²⁷ et son application est capable, dans les villes modélisées, de calculer le potentiel constructible de toute parcelle de la commune.

UpFactor (France) produit un service assez proche mais centré sur la capacité constructible en surélévation de bâtiment, là encore en interrogeant les règles d'urbanisme en vigueur. A titre d'exemple, un bailleur social parisien disposant de plus de 180 adresses a pu, en utilisant ce service, déceler que 15% de son patrimoine était sur-élevable ce qui a enclenché le lancement de 6 opérations prioritaires.

Namr (France) se spécialise dans la collecte de données - quantitatives et qualitatives - de 100% des bâtiments de France, et fournit cette "data intelligence" à des collectivités locales, foncières, gestionnaires de parcs immobiliers, grandes enseignes.

Les modèles prédictifs permettent d'optimiser l'aménagement urbain en anticipant par exemple l'usage des équipements et des infrastructures de transports, le trafic routier, etc. Qucit (France) a développé un algorithme permettant d'anticiper la perception d'une personne en fonction du contexte environnant et d'optimiser ainsi les choix d'aménagement urbain. Concrètement l'outil permet de localiser les usagers et de prendre en compte l'environnement extérieur dans lequel ils évoluent afin d'obtenir une cartographie des points d'attention et de satisfaction de l'ensemble d'un territoire. L'analyse automatique et géolocalisée permet de dégager des tendances et de valider un scénario de programmation urbaine.

Ces applications dédiées aux métiers du foncier présentent un fort potentiel de développement et toucheront de nombreux acteurs du secteur : les développeurs immobiliers connaissent déjà une accélération de l'automatisation des tâches de prospection, le métier de *broker*²⁸ est susceptible de perdre en influence. A terme il sera envisageable de pouvoir prédire l'évolution des prix et loyers du marché en offrant une meilleure visibilité sur les facteurs de variation.

Conception, simulation

En phase de conception, diverses solutions digitales permettent d'explorer de multiples scénarii pour trouver la meilleure option sur la base d'objectifs, de paramètres ou contraintes spécifiques définis à l'avance. C'est le *Generative Design*, un processus d'optimisation topologique qui permet de concevoir informatiquement des constructions optimales à partir d'un ensemble d'exigences.

Concrètement, sur toute adresse caractérisée par des données physiques (ensoleillement géotechnique du sol, bâtiments voisins...), des contraintes réglementaires (règles d'urbanisme locales) et des choix d'usage (logement, bureau, commerce, servitudes...), les outils digitaux ont maintenant le potentiel de pouvoir simuler différents scénarii de construction en jouant sur les principaux paramètres structurants : géométrie (forme, hauteur...), matériaux (béton, bois...), ouvrants (vitrage, terrasse, ...) et évaluer pour chaque scénario les impacts : cout de

²⁶ IA : intelligence artificielle

²⁷ Le Plan Local d'Urbanisme (PLU) est un document d'urbanisme qui, à l'échelle de la commune, traduit un projet global d'aménagement et d'urbanisme et fixe en conséquence les règles d'aménagement et d'utilisation des sols.

²⁸ *Broker* : terme anglais désignant les intermédiaires des ventes et des locations immobilières.

construction, cout d'exploitation, performance environnementale, performance d'usage, rentabilité.

Rappelons que si l'industrie est historiquement bien outillée pour simuler les couts d'une construction (nombreux ratios du type €/m² calculés par des économistes de la construction), l'évaluation de la performance environnementale est une pratique récente, qui s'appuie sur des méthodologies complexes et qui nécessitent de disposer de données environnementales précises sur l'ensemble de matériaux utilisés. L'apport du digital est donc incontestable dans ce domaine.

L'opération peut s'appliquer à l'échelle d'un matériau (optimisation d'un composant de structure), d'un ouvrage (un bâtiment, un pont...) ou encore à l'échelle d'un quartier (accès à la lumière, formes urbaines, densité recherchée...).

Il est aussi possible d'automatiser et d'optimiser la conception de la maquette BIM en rendant les supports plus fiables et homogènes (dans les calculs des surfaces et ratios, l'utilisation des différentes terminologies, etc.). L'IA²⁹ peut être utilisée dans la maquette BIM pour effectuer des revues de chantier et identifier les défauts de conception afin de réduire les risques de correction pendant la phase chantier et de limiter les réserves finales.

Exemples de start-up

La start-up finlandaise OneClickLCA (Finlande) s'est imposée comme le leader de l'évaluation automatisée du cycle de vie d'une conception, utilisée par les principaux constructeurs et promoteurs dans une centaine de pays.

L'Europe, et en particulier la France³⁰, s'étant dotées de réglementations novatrices qui imposent la prise en compte du carbone incorporé³¹, il faut s'attendre à ce que les futurs leaders dans ce domaine soient des Français, car ils auront acquis du fait de la réglementation un savoir-faire et un historique de données inégalés dans les autres géographies.

Vizcab (France) permet de réaliser, de générer et d'explorer différents scénarios en fonction des objectifs énergie carbone définis. L'outil développé permet de modéliser dès les phases amont l'empreinte carbone d'un projet architectural.

Nooco³² (France) permet aux décideurs de disposer instantanément d'informations sur l'impact carbone de leurs projets

Kocliko (France) simule la performance énergétique d'un bâtiment, permettant ainsi d'orienter les choix sur les matériaux, installations et équipements qui offrent une combinaison optimale. La solution s'utilise aussi bien pour des programmes neufs que pour de l'ancien.

²⁹ IA : intelligence artificielle

³⁰ La nouvelle réglementation RE2020 de la France impose l'analyse des émissions de gaz à effet de serre incorporés sur tout le cycle de vie d'un bâtiment, depuis la conception jusqu'à sa déconstruction/démolition. La RE2020 définit des seuils de carbone incorporé, qui seront abaissés au fil des années (2022, 2025, 2028 et 2031), afin de réduire les émissions., imposant chaque fois une nouvelle pression à la décarbonisation pour le secteur du bâtiment.

³¹ Le carbone incorporé fait référence aux émissions de gaz à effet de serre associées à la fabrication, au transport, à l'utilisation et à l'élimination des matériaux de construction utilisés durant la phase construction. Les réglementations en Amérique du Nord et en Asie se contentent de contrôler le Carbone opérationnel (émissions de gaz à effet de serre liées à l'exploitation d'un bâtiment pendant toute sa durée de vie).

³² Rachetée par Deepki

En lien avec les étapes de conception, le digital peut aussi être utilisé pour extraire des maquettes BIM toute traduction visuelle utile pour la commercialisation de logements ou de bureaux. Habiteo³³ (France) est le leader européen des technologies 3D dédiées à l'immobilier neuf, la société a développé des outils qui permettent d'éditer automatiquement des plans de vente et des visites virtuelles d'appartement à partir d'une maquette de conception.

Spacemaker³⁴ (Norvège), optimise la conception globale des plans masses de quartiers en fonction des contraintes urbanistiques et d'objectifs de qualité.

XtreeE (France) utilise l'optimisation topologique³⁵ dans la conception d'éléments d'ouvrage pour optimiser leur design en fonction de contraintes fonctionnelles : tenue structurelle, allègement, minimisation du volume de matière....

Metabuild (Allemagne) permet d'assister les concepteurs, architectes notamment, dans le dessin de leurs projets pour améliorer la performance environnementale.

A la fois bureau d'études et editrice de logiciel, Octopus Lab (France) est spécialisée dans la prévision de la qualité de l'air intérieur et guide les concepteurs de bâtiment dans leurs choix de construction.

Le potentiel d'application est encore fortement limité par la capacité à pouvoir agréger toutes les données pertinentes (couts, environnement, performance), mais la tendance est clairement à l'automatisation des tâches de conception et des analyses d'impacts. Le potentiel d'optimisation en phase de conception apparaît ainsi très important et le développement de cette technologie impactera directement les métiers des promoteurs, constructeurs et architectes sur les aspects d'études de faisabilité et de rentabilité des projets.

Durant la construction

Matériaux

L'innovation dans l'univers des matériaux est un domaine plutôt réservé aux industriels. L'essentiel des industriels actuellement dominants ont historiquement établi leur leadership grâce à l'introduction d'une innovation technologique ou d'usage qui a permis de simplifier la manière de construire, d'abaisser les couts ou d'améliorer la performance des matériaux : isolants, bétons cellulaires, ouvrants (fenêtres), bétons autoplaçants, peintures, revêtements de sols, colles, etc. Les industriels disposent de capacité de R&D (ce sont quasiment les seuls dans le secteur qui font vraiment de la R&D) et sont en permanence en train de développer des améliorations de leurs produits.

Depuis une dizaine d'années, la plupart des évolutions ont été dictées par la pression réglementaire sur la performance énergétique et sur la qualité environnementale et sanitaire des produits³⁶.

³³ Rachetée par Bien'ici

³⁴ Rachetée par Autodesk

³⁵ L'optimisation topologique est une méthode mathématique (et logicielle) qui permet de trouver la répartition de matière optimale dans un volume donné soumis à des contraintes

³⁶ Les matériaux de construction peuvent contenir des Composés Organiques Volatils (COV), polluants néfastes pour la santé et l'environnement, qui peuvent être émis dans l'air intérieur lors de leur mise en œuvre et de leur utilisation, tout au long de la vie du bâtiment, participant ainsi à la dégradation de la Qualité de l'Air Intérieur

Ces quatre-cinq dernières années, le focus réglementaire pèse essentiellement sur le poids carbone des matériaux, et dans une moindre mesure sur la réduction des emballages plastiques et l'optimisation du transport.

Le domaine de la construction est le principal utilisateur de matières premières dans le monde. Depuis un siècle, l'extraction des matériaux de construction a été multipliée par 34³⁷. La massification de l'usage des matériaux de construction biosourcés³⁸ représente donc un enjeu majeur de la transition écologique et de la lutte contre le changement climatique.

Les **matériaux biosourcés** étant les matières bioéconomiques les plus anciennes de l'humanité, il ne s'agit pas tant d'inventer de nouveaux matériaux mais plutôt de faire renaître des savoir-faire et des filières oubliées : bois, chanvre, paille, ouate de cellulose, textiles recyclés, balles de céréales, miscanthus, liège, lin, chaume, herbe de prairie, etc. Cela implique pour les producteurs un important travail de sourcing de matières premières et d'adaptation des chaînes industrielles de production. Les difficultés de travailler avec des matières organiques d'origines agricoles sont la volatilité de la qualité de la matière première (par exemple le taux d'humidité variable), la volatilité des coûts (selon l'offre et demande), les aléas climatiques et la sécurisation des volumes (une partie de ces terres agricoles étant en concurrence avec l'alimentation). En pratique, les biomatériaux sont plébiscités mais demeurent encore plus onéreux à mettre en œuvre que les matériaux standards, et donc un marché de niche. Notons aussi les contradictions des réglementations, qui d'un côté encouragent fortement l'usage de matériaux biosourcés, mais qui de l'autre leur imposent de respecter un cadre normatif hérité d'un monde industriel minéral où tout était maîtrisé : résistance au feu, performance, durabilité, esthétique, etc. (pour reprendre notre exemple, la performance thermique d'un isolant biosourcé peut varier en fonction du taux d'humidité dans les matières premières).

Le cas spécifique de la **construction bois** est très intéressant et révélateur des contradictions du secteur. Historiquement le principal matériau de construction, il a été progressivement remplacé par le béton et l'acier. Les filières construction bois ont quasiment disparu dans certains pays Européens (France, Royaume-Uni, Espagne) ou encore en Chine, tandis qu'elles ont su rester robustes – au moins pour l'habitat individuel – en Amérique du Nord, dans les pays scandinaves et au Japon³⁹. Réintroduire la construction bois en France pose donc un certain nombre de défis liés à la capacité locale industrielle de production, la compétence de conception, la formation de la main d'œuvre spécialisée et la compatibilité avec les normes de construction. Alors qu'en France la réglementation feu a été élaborée sur la base d'ouvrage dominant en béton et impose une logique de protection passive⁴⁰, d'autres pays qui ont une plus forte pratique des constructions bois ont fait des choix différents, comme par exemple l'usage de protections actives tels que les *sprinklers*⁴¹.

³⁷ Source : Programme des Nations Unies pour l'environnement

³⁸ Matériau issu du vivant, d'origine animale (ex. : laine de mouton) ou végétale (ex. : bois, paille)

³⁹ Au Japon, 50% des maisons individuelles sont en bois. Au Canada et aux Etats-Unis ou dans les pays scandinaves, on frôle les 90%. En France, ce marché représente à peine 5%.

⁴⁰ Protection passive : un ouvrage doit être conçu pour résister à un incendie pendant un temps donné sans aucune action de l'homme. A distinguer des protections actives, destinées à arrêter un incendie (extincteurs, alarmes incendie, les détecteurs de fumée et même les pompiers, sont tous considérés comme des systèmes de protection active contre l'incendie)

⁴¹ *Sprinkler* (francisé en sprinkleur) : installation fixe d'extinction automatique à eau se déclenchant en cas de chaleur excessive dans un local ou un site à protéger lors d'un incendie

A noter aussi l'utilisation grandissante de la terre crue⁴² ou l'utilisation de liants d'argile à la place de ciment. Sans être biosourcés, ces matériaux sont naturels et non transformés chimiquement ; ne faisant pas l'objet d'une cuisson, ils ont un bilan environnemental très intéressant. A nouveau le développement de l'usage de ces matériaux va se heurter à la capacité des filières industrielles à pouvoir s'adapter pour sourcer suffisamment de volumes à des coûts acceptables, à la capacité des entreprises à maîtriser et industrialiser des savoir-faire ancestraux mais aujourd'hui disparus, ainsi qu'à la compatibilité avec les normes existantes.

Exemples de start-up

Relativement peu de startup sont présentes sur ce segment ; développer un nouveau matériau implique généralement d'importants investissements financiers pour monter un site industriel et un temps long de certification réglementaire, quasiment impossibles à financer via du capital risque.

Gramitherm (Belgique) fabrique un isolant biosourcé à base d'herbe coupée lors de l'entretien des aéroports, des autoroutes, des canaux... L'herbe utilisée ainsi ne concurrence pas les pâturages, elle est déjà considérée comme "un déchet". Après sa récolte, les parties fibreuses de l'herbe sont séparées de la partie organique, et liées par une fibre à base de carbone, le polyester, à laquelle est ajoutée du sel de bore en petite quantité pour protéger l'isolant des incendies et des champignons. Le tout est ensuite compacté et thermoformé, pour produire des panneaux d'une épaisseur de 45 à 240 mm.

Materrup (France) produit un ciment d'argile local et décarboné. Son modèle économique et industriel a été conçu pour accompagner les industriels en place dans la transition de la filière de la construction.

Cold-Pad (France) développe des fixations alternatives au soudage (aciers) et au perçage (bétons) et permet de faciliter les opérations de maintenance des structures.

ECONcrete (Israël), a mis au point une technologie qui modifie trois propriétés du béton (sa composition via un adjuvant, le micro revêtement via un traitement de surface, et la macro conception via le moulage) et permet ainsi de construire des ouvrages en béton en zone côtière tout en renouvelant la biodiversité des écosystèmes marins (bivalves, homards, couvertures d'algues, poissons).

A l'heure où les conséquences sur l'environnement de la demande de matériaux de construction à l'échelle mondiale sont de plus en plus décriées, il est indispensable pour la filière de trouver des matériaux à plus faible impact environnemental que le béton. Cependant, à l'instar de ce qui se passe dans le monde de l'énergie, où les substituts aux énergies fossiles (photovoltaïque, éolien, nucléaire, batteries...) ont chacun leur lot de problèmes et de détracteurs, le secteur de la construction est encore très largement dépendant du matériau béton, autour duquel il a élaboré ses pratiques et standards de référence. Le nier serait renoncer à une évidence. L'avenir est donc dans la nécessaire adaptation des outils industriels cimentiers pour produire des liants bas carbone, dans le recyclage des bétons de déconstruction pour les réutiliser en matières premières, et dans l'adaptation des réglementations pour autoriser ces matériaux d'un nouveau type.

⁴² Pisé (terre+sable+argile), torchis (terre+paille)

Digitalisation du chantier

Le chantier demeure le parent pauvre de la filière en matière d'innovation, et notamment de digitalisation et de connectivité : les travailleurs des chantiers de BTP comme les équipements génèrent aujourd'hui encore trop peu de données exploitées.

Le potentiel apport du digital est immense, aussi bien sur la simplification des tâches et transactions, que sur la capacité à capitaliser et exploiter les données. De nombreuses start-up développent des solutions très innovantes, dont le déploiement à grande échelle se heurte cependant à la faible capacité des acteurs à intégrer ces outils dans leurs pratiques et systèmes d'informations encore assez archaïques. Les grands acteurs de la construction ont tous des plans en cours de transformation digitale visant à combler ces lacunes, mais l'étendue de la tâche est énorme car il s'agit de codifier et digitaliser des pratiques culturelles souvent peu harmonisées. N'oublions pas que la plupart des projets, aussi grands soient-ils, font appel à une myriade de sous-traitants et artisans locaux qui n'ont pas les moyens de se digitaliser (et quand bien même ils l'auraient, se poserait ensuite la question de la compatibilité des systèmes digitaux et de la propriétés des données).

L'utilisation de tablettes tactiles ou smartphones permettant l'accès aux plans et aux données techniques ou contractuelles est une pratique de plus en plus répandue. Cependant seul le management du chantier est équipé généralement.

Exemples de start-up

FinalCAD, BulldozAIR, Teamoty, Ermeo⁴³ (France), PlanGrid, Fieldwire, Procore (Etats-Unis), PlanRadar (Autriche), Dalux (Danemark) développent des logiciels et des applications qui accompagnent la transformation numérique dans le secteur du bâtiment : suivi de chantier, planning, qualité et gestion des défauts, inspections sécurité, contrôle de l'avancement, collaboration, comptes-rendus, etc.

Les projets de construction sont complexes et souvent retardés en raison de plannings inefficaces et de risques mal identifiés ou maîtrisés. Les algorithmes de nPlan (Royaume-Uni) aident à identifier les incertitudes en fonction des performances sur les projets passés.

Le digital permet aussi de simplifier des tâches du quotidien : lziibtp (France) propose un assistant vocal destiné aux entrepreneurs du BTP pour la rédaction des devis et factures.

La démocratisation des objets connectés, en permettant d'abaisser considérablement le coût des capteurs, combinée aux solutions de traitement d'images, laisse envisager une rapide mise à niveau. Le potentiel est immense : amélioration de la sécurité, optimisation de la productivité (optimisation de l'utilisation des ressources, de la planification et du suivi de chantier, de la qualité, du taux d'utilisation des équipements, etc.).

Le nombre croissant d'équipements connectés et de capteurs sans fils sur les chantiers permet de fournir en temps réel des données sur la localisation des équipements, sur la traçabilité des matériaux, sur les flux et interactions entre le chantier et son environnement. La mise en place de caméras sur les chantiers (pour la sécurité ou le contrôle d'avancement) constitue également une source de données importante pour les intelligences artificielles, sous réserve de

⁴³ Ermeo, rachetée par l'anglais Causeway Technologies

l'acceptabilité des outils⁴⁴, de la protection des données et du nécessaire traitement de la question de responsabilité.

L'exploitation des données issues des équipements de protection individuelle connectés (lunettes, casques, gilets ou chaussures), de capteurs positionnés sur les engins et machines ou encore l'analyse d'images et de flux vidéo fournis par un drone ou une caméra fixe permettent d'optimiser les déplacements et de prévenir les situations à risque (présence d'obstacles, de personnes, etc.) et de donner automatiquement l'alerte, mais également d'effectuer des contrôles des machines et des équipements présents sur les chantiers.

Exemples de start-up

OpenSpace (Etats-Unis) et White Helmet (Arabie Saoudite) sont les leaders de la capture de chantier à 360° : les constructeurs n'ont qu'à fixer une caméra grand public à leur casque et à se rendre sur le chantier comme ils le feraient normalement. La technologie assemble les images et les associe au plan, permettant le suivi de l'avancement à distance.

Citons sur la prévention des accidents les start-up Moten Technologies (France, détection des troubles musculo squelettiques), Blaxtair (France, vision 3D pour détecter les piétons en temps réel autour des véhicules de chantier) ou encore Kooping (France, spécialisée dans le traitement d'images de caméra, permettant de contrôler le bon port des EPI sur chantier et sur la détection en amont des situations à risques pour alerter sur les « presque accidents »).

Buildots (Israël) automatise le suivi de chantier grâce à une Intelligence Artificielle appliquée à la reconnaissance d'image.

La start-up israélienne Intsite fait elle le pari de l'engin de chantier et de la grue autonome. En installant des caméras sur les engins, elle facilite dans un premier temps le pilotage (alertes, aide à la conduite) et développe des algorithmes sur base d'IA⁴⁵ qui permettront demain à ces engins d'opérer de façon autonome sans conducteur.

Les variations climatiques impactent directement les métiers du bâtiment et des travaux publics dont de nombreuses activités sont réalisées en extérieur. Les professionnels du BTP sont exposés au risque de « coup de chaleur », qui correspond à une élévation de la température du corps au-delà de 39° C et constitue une urgence vitale. Biodatabank (Japon) propose un bracelet intelligent de prévention du risque de coup de chaleur.

La gestion et l'optimisation d'un chantier implique aussi un nombre considérable de demandes de devis et d'actes d'achats auprès de fournisseurs de matériaux, d'équipements, de matériels et de prestations de main d'œuvre. L'essentiel de ces activités est aujourd'hui traité via des emails, des fichiers PDF ou des fichiers Excel, très rarement consolidés, encore plus rarement archivés et exploités dans le futur pour un autre projet.

Exemples de start-up

⁴⁴ Les réglementations nationales et les organisations professionnelles sont, selon les géographies et les cultures, plus ou moins ouvertes au *tracking* des travailleurs et des engins, pratique parfois considérée comme portant atteinte au respect de la vie privée des salariés. Des pratiques *best-in-class* à Singapour pourront être considérées comme intrusives en Europe.

⁴⁵ IA : intelligence artificielle

Sagara (France) propose de centraliser et mutualiser toutes les consultations achats et de faciliter la comparaison des différentes offres.

QuoteToMe (Canada) permet d'automatiser les achats, bons de commande et bons de livraison.

Robotisation du chantier

Dans un secteur du BTP qui peine à trouver de la main d'œuvre et qui souffre d'une image d'accidents du travail et de pénibilité, on a du mal à comprendre pourquoi l'usage de la robotique sur chantier reste encore anecdotique.

Depuis les années 70 au Japon, de nombreux robots ont été développés pour faciliter des tâches répétitives : il existe ainsi des robots ponceurs, des robots peintres, des robots perceurs ou des robots nettoyeurs, etc.

La cobotique, qui associe humain et robot, développe des exosquelettes, dispositifs portatifs permettant de soulager le travailleur en diminuant les contraintes supportées par les différentes parties de son corps, prolonger sa force et son endurance, et de diminuer ainsi la pénibilité.

Le secteur a bénéficié des récentes avancées dans le domaine des drones, notamment pour des tâches d'inspection, de scan3D ou de suivi de l'avancement de travaux.

La généralisation de l'usage de la robotique sur chantier est principalement freinée par les pratiques culturelles, le caractère local et temporaire des chantiers : le coût du robot doit pouvoir s'amortir plusieurs chantiers et la cohabitation avec des humains sur un espace disponible déjà faible est un facteur de risque en plus.

Exemples de start-up

Civrobotics (Israël) développe des drones capables de positionner des marqueurs sur de très grandes distances sur les chantiers de Travaux Publics (par exemple en identifiant en surface les zones où passent une conduite de gaz souterraine ou encore pour permettre de géolocaliser automatiquement les emplacements lors de la pose de panneaux solaires).

LightYX (Israël) facilite le travail des équipes installant des cloisons, ventilations et autres équipements en projetant directement dans le bâtiment les lignes des plans.

RaiseRobotics (Etats-Unis) développe un robot facilitant le levage de charges en hauteur sur les chantiers.

L'impression 3D est sans doute le champ de la robotique qui laisse présager d'une plus forte généralisation. L'impression 3D béton permet notamment de réaliser des formes radicalement nouvelles, impossibles à obtenir avec les coffrages traditionnels. Combinée avec l'optimisation topologique, ces techniques peuvent permettre de réduire considérablement le volume de matériaux employés.

Exemples de start-up

XtreeE (France) est le pionnier de l'impression 3D béton à grande échelle de type extrusion de matière. La société développe des têtes d'impression montées sur un robot 6 axes, et une plateforme « *Printing as a Service* » permettant aux chantiers de pouvoir imprimer partout dans le monde un catalogue de pièces en béton. Des unités de construction hors-site sont disponibles en France, à Dubaï, au Japon, en Suisse et aux Etats-Unis.

Cobod (Danemark) opère une technologie très différente : le robot est constitué par un système de portique modulaire, ce qui permet d'adapter la taille d'imprimante pour chaque projet spécifique et imprimer ainsi des bâtiments entiers.

A noter que les grands leaders⁴⁶ des matériaux sont investisseurs dans ces technologies émergentes.

Logistique chantier

Les capteurs placés sur les équipements et le matériel de chantier permettent de les géolocaliser, de connaître leur état de fonctionnement, leur taux d'utilisation, etc. Plusieurs projets visant à développer des engins autonomes amènent également à embarquer davantage de caméras sur les engins pour faciliter ou automatiser leur conduite.

Exemples de start-up

Hiboo (France) permet aux constructeurs et loueurs de matériels de collecter les données de leur parc matériel lourds, camions ou véhicules, et ainsi d'analyser les leviers d'optimisation : productivité, minimisation des déplacements, bilan carbone, etc.

ShareMat (France) s'attache à améliorer le taux d'utilisation des engins de Travaux Publics en encourageant le partage de matériel et en gérant un profil numérique du matériel avec ses caractéristiques, ses documents associés, son plan de maintenance...

ConcreteDispatch (France) digitalise pour les chantiers le suivi de leurs fournitures béton : commande, réception, contrôles qualité, suivi budgétaire, calcul de l'empreinte carbone.

Les chantiers travaillent de plus en plus à minimiser leur empreinte environnementale : énergie verte, électrification des engins pour éviter les groupes électrogènes diesel, mesure et contrôle des nuisances acoustiques et pollution.

Exemples de start-up

Com'in (France, spin-off de Bouygues Construction) est une plateforme d'analyse et de maîtrise en temps réel des nuisances liées au bruit, aux poussières et à la mobilité (embouteillages, salissures de la chaussée...). Grâce à des capteurs installés sur les chantiers, une application mobile de signalement pour les riverains et un algorithme apprenant, les responsables de chantiers équipés de la solution peuvent faire des choix pertinents quant à la conduite des travaux.

⁴⁶ Holcim, Sika, VINCI Construction

Construction hors-site

La construction hors-site consiste à planifier, concevoir, fabriquer tous les éléments d'un bâtiment en atelier ou en usine, puis de les transporter et de les assembler sur site. Elle est généralement créditée comme l'avenir de la filière, seule solution en capacité de massifier l'industrialisation de la construction avec un ensemble de bienfaits : les conditions de travail et la qualité en usine sont mieux maîtrisées que sur un chantier exposé aux aléas climatiques, les trajets des matériaux et des hommes sont réduits significativement, la quantité de déchets produits est réduite et le recyclage est facilité, les nuisances sonores pour les riverains du chantier sont réduites...

L'innovation n'est pas technologique, la véritable révolution du hors-site réside dans une nouvelle organisation des acteurs. C'est un mode de pensée tourné vers la préfabrication et non plus vers le chantier.

La Suède et le Japon sont clairement en avance sur le marché résidentiel, suivi des Etats-Unis, le Royaume-Uni et les Pays-Bas. Les pays latins sont clairement en retard avec des cultures et des réglementations encore basées sur la construction traditionnelle : mode de consultation des entreprises, ordre des architectes, règles de financement de l'immobilier, absence de standards, etc.

Paradoxalement, bien que la diffusion de la construction hors-site ne soit pas vraiment un enjeu technologique mais plutôt culturel, de nombreuses start-up développent des offres sur le hors-site (et ce malgré le fait que la construction hors-site exige des investissements dans des capacités de production industrielles que les capitaux-risqueurs – qui financent les start-up – n'apprécient guère). On retrouve ici l'esprit « changer le monde » des start-up : la construction hors-site est un avenir souhaitable mais qui se heurte à de nombreux freins des entrepreneurs vont résoudre le problème.

Exemples de start-up

L'exemple le plus connu reste malheureusement Katerra, société technologique américaine qui affichait son ambition de transposer les recettes de la Silicon Valley sur le marché gigantesque et peu évolué de la construction, et qui n'a pas reçu à tenir cette promesse malgré 2 milliards de dollars investis. Plusieurs autres start-up ont aussi échoués face aux importants besoins de financement exigés par un modèle de fabrication.

La plupart des start-up aujourd'hui actives sur le hors-site proposent des solutions technologiques de continuité digitale *design-to-fab-to-site* : un outil de conception pour les architectes, qui permet de définir les espaces à partir d'une multitude de modules prédéfinis à ossature bois, puis une chaîne de transmission numérique qui envoie directement et automatiquement en fabrication les éléments. Il ne reste plus qu'à transporter et assembler sur site des modules préassemblés hors-site, terminés à 90% (gros œuvre, second œuvre, lots techniques et finitions), limitant ainsi les nuisances et délais de travaux sur site.

Sustainer (Pays-Bas) a développé un outil de conception très intéressant qui permet beaucoup de flexibilité aux architectes. On note ici que la culture néerlandaise est prête pour ce type de concept.

Vestack (France) intervient sur des projets en tant que contractant général ou en tant qu'entreprise générale. La promesse est ambitieuse : pouvoir « réaliser des projets avec une empreinte carbone 3x meilleure, 2x plus rapidement, et avec 0 coût additionnel »

Aux Etats-Unis, l'idée de pouvoir résoudre la crise du logement tout en améliorant la performance environnementale séduit les grands acteurs de la Tech : Amazon a investi dans Plant Prefab (Californie), Warren Buffet dans MiTek (Missouri) acteur spécialisé dans les solutions logicielles pour l'ingénierie des structures bois, Google a investi aux côtés d'Autodesk dans Factory OS (Californie, qui a notamment réalisé des logements pour les employés de Google qui peinent à se loger à Mountain View).

Phase d'exploitation

La majorité des solutions innovantes aujourd'hui effectivement déployées dans le secteur du bâtiment concerne la phase d'exploitation. La multiplication des capteurs au sein du bâtiment permet de collecter une grande quantité d'informations sur l'utilisation du bâtiment ou l'état de fonctionnement des équipements, aujourd'hui principalement utilisées pour optimiser la performance énergétique et la gestion des espaces.

Performance énergétique

La corrélation des données extérieures (météorologie, énergie, etc.), des caractéristiques du bâtiment contenues dans la maquette numérique (BIM), l'analyse des caractéristiques de l'enveloppe (conductivité, inertie des matériaux), des spécificités des équipements (chauffage, ventilation, climatisation) et des informations remontées via des capteurs sur le comportement et les usages de l'occupant permettent d'anticiper et gérer les besoins énergétiques des bâtiments et de régler les systèmes pour assurer le confort des usagers.

Des algorithmes peuvent identifier et prendre en compte les habitudes des occupants et combiner leur analyse avec celle d'une multitude de paramètres externes (températures, trafic, congés, événements) pour anticiper et lisser les pics de consommation.

Les algorithmes permettent également d'expliquer les écarts entre les simulations effectuées et les consommations relevées et de préconiser des ajustements dans la gestion des équipements.

Exemples de start-up

Openergy⁴⁷ (France) a construit sur la base du moteur de calcul EnergyPlus⁴⁸, un outil de simulation énergétique « agile » des bâtiments permettant à un non-expert de simuler des choix techniques de conception et d'exploitation.

Beebryte (France) en s'appuie sur les prévisions météorologiques, l'activité du bâtiment ainsi que le prix de l'électricité pour anticiper la demande thermique et produire le froid/chaud au meilleur moment en respectant le confort et la plage de fonctionnement déterminée par le client.

Gestion des espaces

Les données d'occupation des différents espaces, collectées par l'intermédiaire des objets connectés placés au sein d'un bâtiment, dans les espaces publics ou sur des équipements

⁴⁷ Rachetée par Egis.

⁴⁸ Departement of Energy, Etats-Unis.

peuvent être exploitées pour optimiser le taux d'occupation, l'allocation et l'aménagement des espaces.

Les technologies de reconnaissance faciale et vocale permettent de renforcer la sécurité des bâtiments en détectant les tentatives d'intrusion et en déclenchant automatiquement une alarme si nécessaire.

Le bâtiment peut évoluer vers une plateforme de services où chaque usager bénéficiera d'une « expérience utilisateur » personnalisée. Cependant, la forte complexité (données de nature très différente) et l'accès restreint aux jeux de données nécessaires⁴⁹ font que peu d'acteurs peuvent à ce jour délivrer une promesse complète.

Exemples de start-up

La start-up Jooxter (France) a développé un outil pour aider les entreprises à mieux gérer leurs espaces de travail à partir de la cartographie des flux dans le bâtiment et dont la capacité prédictive leur permet de conseiller des groupes sur l'aménagement de leurs espaces.

La start-up Kawantech (France) a quant à elle développé un système d'éclairage public intelligent dont les capteurs pilotent la puissance pour l'adapter en temps réel aux différents types de mobilité dans la rue. La technologie peut par exemple distinguer un véhicule en stationnement, d'un véhicule en mouvement, ou distinguer un passant d'un chat et adapter en fonction un scénario d'éclairage plus ou moins fort.

La start-up Spoon.ai (France) développe par exemple des interfaces interactives qui peuvent analyser la parole mais aussi déchiffrer la façon dont se comporte leur interlocuteur pour construire une réponse et l'accompagner. L'interface Spoon peut équiper toutes les machines qui ont un comportement autonome et être ainsi déployée dans des espaces publics comme privés (centres commerciaux, espaces d'accueil des entreprises et lieux culturels, dispositifs d'équipement urbains, etc).

Maintenance prédictive

Les données collectées via des capteurs positionnés sur les équipements et les installations (chauffage, ventilations, plomberie, etc.) du bâtiment sont exploitées par les algorithmes d'intelligence artificielle pour détecter les anomalies ou prédire les pannes de fonctionnement. Le bâtiment peut s'autodiagnostiquer et déclencher des opérations de maintenance préventive.

Peu de solutions existent actuellement sur ce segment mais à l'instar des applications dans le secteur industriel, le potentiel de développement de la maintenance prédictive des équipements et installations dans un bâtiment est significatif.

Exemples de start-up

La start-up Fieldbox (France) propose une solution qui permet d'optimiser les équipements par la prédiction. L'algorithme développé détecte par exemple les anomalies dans le fonctionnement d'un tapis roulant, d'un escalier mécanique, un ascenseur ou une pompe. Cela permet d'anticiper la dégradation des machines tournantes et de rationaliser leur utilisation pour en allonger la durée de vie.

⁴⁹ Règlements en vigueur sur l'usage des données personnelles.

La start-up AquaTrace (Irlande) a quant à elle développée une solution innovante de détection de fuite en toiture. Cause de sinistralité importante, les défauts d'étanchéité de toitures terrasses engendrent souvent d'important travaux car il est impossible de déceler précisément le point de faiblesse de l'étanchéité. Grâce à un réseau de capteurs placé en toiture, AquaTrace est capable de détecter une fuite et de la localiser précisément pour une réparation rapide avant tout dégât.

Enfin, afin de permettre des actions de maintenance prédictive, la start-up italienne Builti propose des outils d'évaluation des capacités mécaniques résiduelles des ouvrages et ainsi anticiper les risques de dégradation ou de destruction par exemple en zone sismique.

Évolutivité

Dans des métropoles en plein renouvellement urbain et avec des capacités limitées à développer des infrastructures de transport, les enjeux de rénovation, de densification du bâti existant (« bâtir la ville sur la ville ») et d'évolution des usages prennent une place de plus en plus importante.

La question de la transformation de bureaux en logements a pris une ampleur inédite depuis la crise du coronavirus : avec de nombreux bureaux vacants et un déficit de logements, la conversion de bureaux vides en logements est un sujet politique et sensible. De nombreux élus locaux souhaitent encourager ces opérations qui pourtant sont coûteuses et complexes.

Lumicene (France) réinvente la relation dedans-dehors dans le logement, avec un concept de fenêtre bioclimatique entre le bow-window et la véranda, permettant tantôt d'utiliser un espace en balcon ou en pièce fermée.

OWWI (France) permet aux promoteurs de construire des surfaces standardisées et offre à l'utilisateur final – l'acheteur du logement – une possible évolutivité du logement dans le temps grâce à des cloisons amovibles qui incluent la distribution électrique

UpFactor (France) identifie la capacité de surélévation de bâtiment

Rénovation, fin de vie et recyclage

Rénovation

L'innovation dans la construction a tendance à s'exprimer sur des ouvrages neufs qui disposent de décideurs et de budgets. Cependant rappelons-nous que la construction neuve ne représente typiquement que 1% du parc bâti existant en France. Le vrai enjeu de la transition environnementale du bâti réside donc principalement dans la capacité à « upgrader » les bâtiments et les ouvrages existants – qui ont généralement entre 10 et 30 ans – aux standards énergétiques, de confort et d'usage d'aujourd'hui. Mais la tâche est immense, les actifs à rénover sont souvent en copropriété, pour lesquels il est très difficile de concilier les copropriétaires sur un objectif commun.

Le principal frein à la rénovation énergétique, c'est que les montants d'économie d'énergie réalisés après travaux ne permettent pas de financer le coût des travaux. Les états doivent donc engager des politiques volontaristes de financement et d'incitation financière (crédits d'impôts par exemple) pour « forcer » l'équilibre financier de la rénovation du parc.

Pour tenter de lever ce frein, il y a de nombreuses tentatives d'innovation juridico-financière : tiers financement⁵⁰, concession de l'enveloppe de bâtiments⁵¹, Contrats de Performance Energétique, etc.

Les innovations techniques dans ce domaine se trouvent principalement sur les étapes de diagnostic en amont d'une rénovation : afin de pouvoir estimer l'ampleur des travaux et des coûts associés, il est indispensable de faire un état des lieux technique de l'existant. Sur des bâtiments anciens les plans sont souvent inexistantes ou faux, on comprend donc la valeur ajoutée par des solutions de scan3D, de diagnostic de l'état des structures, de conversion de plans 2D en plans 3D, de reconnaissance d'images, de thermographie pour identifier les fuites de chaleur, de reconnaissance automatisée des matériaux ou encore de simulation de l'impact de différents scénarii des rénovations.

Exemples de start-up

T2D2 (Etats-Unis, spin-off de la société d'ingénierie américaine Thornton Tomasetti), révolutionne la pratique de l'inspection de façades et de structures, en automatisant par intelligence artificielle la reconnaissance d'images de drones afin de détecter les détériorations et d'évaluer les coûts de réparation.

La start-up Kocliko (France) permet d'effectuer des simulations dans le cadre d'une rénovation énergétique.

Q-bot (Royaume-Uni) a développé un robot de la taille d'une voiture télécommandée qui se faufile discrètement dans de petits espaces inaccessibles à l'homme. Muni d'une caméra et lasers, et piloté à distance par un technicien, il est capable de modéliser un espace, détecter le niveau d'humidité des surfaces et effectuer des travaux d'isolation délicats.

Fin de vie, déchets, réemploi et recyclage

Le secteur de la construction a engagé sa transition vers une **économie circulaire**, avec, par ordre de priorité : la prévention de la production de déchets, le réemploi des produits, le recyclage ou, à défaut, une valorisation des déchets. L'Union Européenne⁵² fixe à 70% les objectifs de valorisation des matières et déchets issus du BTP.

Dans les économies développées où l'essentiel des constructions sont des rénovations ou des extensions sur des fonciers déjà bâtis (« bâtir la ville sur la ville »), le concept de « mine urbaine » redevient d'actualité⁵³. Cette approche considère la ville comme un vaste gisement de ressources susceptibles d'être exploitées dans le futur.

⁵⁰ Le mécanisme de Tiers financement consiste à faire financer par un tiers une rénovation de bâtiment. C'est le Tiers qui porte l'investissement de rénovation. Une fois terminé, le bénéficiaire reverse au Tiers Financier l'équivalent d'un loyer.

⁵¹ Un tiers finance la rénovation de l'enveloppe du bâtiment et collecte ensuite un loyer pour cette enveloppe.

⁵² Directive 2008/98/CE relative aux déchets.

⁵³ « Re » devient car se fournir en matériaux dans un bâtiment amené à être démolie est une pratique bien ancienne. Dès l'antiquité, on réemployait volontiers les matériaux d'édifices en ruines ou délaissés par les précédents occupants dans la construction de nouveaux édifices. Les matériaux de construction utilisés jusqu'à la fin du XIX^{ème} siècle s'y prêtaient bien : pierre, bois, terre... Une maison en pierres démolie ou laissée à l'abandon devenait facilement un stock de pierres pour reconstruire.

Malgré l'apparente gratuité de la ressource, l'ensemble des étapes (diagnostic, collecte, tris, transport et stockage) engendrent une complexité qui peine souvent être compétitive par rapport à des matériaux neufs sortis d'usine. De plus se pose l'épineuse question de la conformité réglementaire, de la garantie et de l'assurabilité des matériaux réemployés.

L'innovation consiste à identifier la nature des gisements, à étudier la capacité à étendre la durée de vie des matériaux, à imaginer des nouveaux usages, à faciliter les multiples opérations de démontage et de troc que cela implique. Pour cela, de nombreux métiers se développent autour des pratiques de réemploi : diagnostiqueur, AMO Réemploi, déconstructeur, reconditionneur de matériaux, plateformes de revente, etc...

Exemples de start-up

De nombreuses start-up sont actives sur ce secteur émergent, car il fait appel à des nouveaux modèles économiques et de nouvelles compétences digitales (places de marché).

Backacia ou CycleUp (France) développent des plateformes d'achat-vente de matériaux de construction en réemploi.

Neolithe (France) est une start-up industrielle qui transforme les déchets non-recyclables en granulats minéraux utilisables dans le secteur du BTP.

GreenRail (Italie) fabrique des traverses de voies de chemin de fer à partir de matériaux recyclables : plastique recyclé et caoutchouc collecté sur des pneus en fin de vie. Cette technologie réduit les vibrations et le bruit, ainsi que les besoins en maintenance

Purple Alternative Surface (France) fabrique une dalle Perméable - Écoresponsable – Modulaire, réalisée avec des déchets plastiques et qui permet de lutter contre l'artificialisation des sols des parkings.

Sustainable (Pays-Bas) fabrique un matériau de surface 100% circulaire, alternatif à la pierre pour des applications architecturales (comptoirs de cuisine, panneaux de salle de bain, panneaux muraux).

Notons que le champ d'application de l'économie circulaire dans la construction est plus large que le seul périmètre des matériaux : c'est une démarche globale dont la mise en œuvre permet d'agir positivement sur la consommation d'énergie des constructions, leur émission de gaz à effet de serre et l'emploi d'énergie renouvelable, dans le but de préserver les ressources naturelles, réduire les déchets et le gaspillage.

Conclusion

Ce panorama montre une situation contrastée :

D'une part, une industrie peu innovante et dont les structures, la culture et le fonctionnement rendent l'innovation très difficile,

D'autre part, il faut le souligner, une demande qui n'est pas avide d'innovation et même qui s'en méfie, en logement tout au moins, car celui-ci est une valeur patrimoniale refuge et un bien culturel où la tradition est valorisée,

Et enfin, une floraison d'idées nouvelles et d'initiatives portées par des start up imaginatives dans tous les domaines et à tous les niveaux de la chaîne de valeur.

Un élément d'espoir d'accélération et de percée de ces innovations réside dans les défis formidables qu'a à affronter l'industrie du Bâtiment dans les années à venir : le défi climatique qui passe par la décarbonation et la rénovation massive du parc existant, le défi environnemental qui passe par l'économie de matériaux et l'Economie Circulaire, l'explosion des besoins liés à l'urbanisation dans les pays émergents qui passe par la capacité des constructeurs à fournir massivement et à bas prix les bâtiments nécessaires.

Ces défis ne pourront être résolus sans une transformation en profondeur des acteurs de la construction.

Le rôle des Pouvoirs Publics est fondamental pour permettre cette transformation qui, nous l'avons vu, n'est ni naturelle ni portée par les seules lois du marché. Ils doivent d'abord fixer des objectifs clairs et ambitieux ce qui est fait en Europe avec le Green Deal et l'agenda 55 et en France à travers la SNBC⁵⁴ et l'objectif net zéro carbone en 2050.

Mais pour que ces objectifs puissent être atteints, ils doivent accompagner et aider le mouvement.

L'Etat dispose de trois leviers d'action : la contrainte, par la réglementation et la taxation, la conviction par la parole politique et les campagnes d'opinion et la subvention par un accompagnement financier pour ouvrir les marchés et aider l'investissement privé des entreprises et des particuliers.

C'est seulement grâce à une combinaison judicieuse et équilibrée dans la durée de ces trois leviers que l'industrie du Bâtiment réussira par l'innovation à relever les défis qui sont devant nous.

⁵⁴ La Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC) est la feuille de route de la France pour lutter contre le changement climatique