



HAL
open science

Horizon et questionnements sur l'évaluation environnementale et sociale des propositions de matériaux naturels dans la construction contemporaine

Jean-Philippe Costes, Marie-Hélène Gay-Charpin, Caroline Varlet,
Jean-Baptiste Viale

► To cite this version:

Jean-Philippe Costes, Marie-Hélène Gay-Charpin, Caroline Varlet, Jean-Baptiste Viale. Horizon et questionnements sur l'évaluation environnementale et sociale des propositions de matériaux naturels dans la construction contemporaine. NOMAD 2022 - 4e conférence internationale francophone Nouveaux Matériaux et Durabilité, IMT Mines Alès; LMGC; LIFAM, Nov 2022, Montpellier, France. hal-03882016

HAL Id: hal-03882016

<https://hal.science/hal-03882016>

Submitted on 2 Dec 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Horizon et questionnements sur l'évaluation environnementale et sociale des propositions de matériaux naturels dans la construction contemporaine

Jean- Philippe COSTES¹, Marie-Hélène GAY- CHARPIN², Caroline VARLET³, Jean- Baptiste VIALE⁴.

¹ PR STA, HDR, ENSA Clermont-Ferrand - UCA | Chercheur permanent | UMR Ressources

² Architecte | MC ENSA Clermont-Ferrand - UCA | Chercheur associée | UMR Ressources

³ Architecte et Historienne | Chargée de mission ENSA Clermont-Ferrand - UCA | Chargée de cours EHESS Paris | Chercheur associée | AMP Architecture Milieux Paysages | UMR CNRS n°7218 LAVUE

⁴ Architecte | MC ENSA Clermont-Ferrand - UCA | Chercheur permanent | UMR Ressources

ABSTRACT

Les propriétés physiques des matériaux bio-sourcés et géo-sourcés ne sont plus à démontrer. Cependant la mise en œuvre des matériaux bio-sourcés, matériaux issus du vivant, et des géo-sourcés, exige une vigilance particulière sous peine de ruiner l'intérêt qu'ils apportent au projet, voire affecter lourdement la durabilité du bâti. La réalisation du lycée Saint Jean (livraison mars 2022) à Clermont-Ferrand par EIFFAGE / CRR Ecritures architecturales est mobilisée ici car ce cas d'étude permet d'entrer dans les logiques à l'œuvre lors du choix de recourir aux matériaux bio et géo-sourcés. En effet, l'enjeu d'un tel projet en termes de coût expérimental est porteur d'un engagement environnemental dont la dimension symbolique est par hypothèse déterminante : en d'autres termes pourquoi et comment se détermine un tel choix pour un tel programme ?

Keywords matériaux bio-sourcés géo-sourcés architecture

Les propriétés physiques des matériaux bio-sourcés et géo-sourcés ne sont plus à démontrer : leurs natures capillaires notamment, variables selon les matériaux, et leurs comportements en font des solutions qui peuvent répondre aux attentes de confort – plus particulièrement pour le confort d'été par la régulation hydrique des ambiances–, à une contribution au stockage et déphasage thermique par l'inertie apportée aux parois (notamment pour les géo-sourcés). Cependant la mise en œuvre des matériaux bio-sourcés, matériaux issus du vivant, et des géo-sourcés, exige une vigilance particulière sous peine de ruiner l'intérêt qu'ils apportent au projet, voire affecter lourdement la durabilité du bâti. Il faut également souligner la forte variabilité caractérisant les matériaux d'origine naturelle, variabilité se vérifiant plus particulièrement pour les produits mobilisant peu de processus de transformation.

L'éventail de propositions de matériaux d'origine naturelle aujourd'hui offerts aux concepteurs-prescripteurs explose. Les arguments sur lesquels s'appuient les qualités de ces matériaux vont, selon les cas, mettre en avant : leurs faibles énergies grises, leurs imbrications dans une économie circulaire et sociale, leurs origines locales, une limitation ou idéalement une absence d'additifs de synthèse. Vis-à-vis des choix de conception architecturale, on peut souligner leur contribution à la régulation de l'humidité relative (1) ainsi qu'au rafraîchissement de l'ambiance intérieure (2), particulièrement apprécié du point de vue du confort d'été.

La plupart de ces données et indicateurs sont à ce jour connus et largement diffusées notamment au travers des fiches FDES (Fiche de déclaration environnementale et sanitaire). Ces

données s'entourent d'hypothèses de calcul qu'il convient de bien examiner au regard de la nature du service offert par la mise en œuvre d'un matériau, mais également de la cohérence globale du projet et de son écosystème environnemental mais également socio-économique. A l'origine déclarative, les données inscrites dans ces fiches sont aujourd'hui certifiées par un organisme tiers, avec comme objectif d'améliorer la fiabilité des données.

Il s'agit donc de questionner les données environnementales des matériaux d'origine naturelle en étendant la notion d'unité fonctionnelle (comparatif entre matériau à service rendu égal) aux caractéristiques souhaitées et au service rendu par la mise œuvre d'un matériau, en prenant en compte :

- la durée de vie de la construction,
- les propriétés physiques,
- l'impact social ou intensité sociale (contribution au confort d'usage : acoustique, thermique, visuel... mais aussi contraintes socio-culturelles des périodicités d'entretien dans un édifice public français),
- la modularité et la possibilité future de réaffecter le bâti à un nouvel usage : démontabilité, séparation des matériaux en vue d'un recyclage et/ou de la fin de vie.

La réalisation du lycée Saint Jean (livraison mars 2022) à Clermont-Ferrand par EIFFAGE / CRR Ecritures architecturales est mobilisée ici car ce cas d'étude permet d'entrer dans les logiques à l'œuvre lors du choix de recourir aux matériaux bio et géo-sourcés, ici la paille et le bois (bien que ce dernier ne soit pas « comptabilisé » comme matériaux bio-sourcés dans les labellisations actuelles). Pour cette réalisation de grande envergure, en marché public, un arbitrage s'est imposé au niveau des quatre paramètres envisagés ci-dessus, arbitrage dont il convient de déterminer les ressorts. En effet, l'enjeu d'un tel projet en termes de coût expérimental est porteur d'un engagement environnemental dont la dimension symbolique est par hypothèse déterminante : en d'autres termes pourquoi et comment se détermine un tel choix pour un tel programme ?

Les rencontres avec les concepteurs au sens large (maîtrise d'œuvre et maîtrise d'ouvrage), impliqués permettent de retracer le cheminement d'un tel choix : quelles conditions préalables en termes d'enjeu, de décision, de disponibilité économique et technique ? Quelles conditions de réalisation en termes de faisabilité, de rapport à la réglementation, de réception de la part des usagers ?

Initié par une décision politique, les décisions architecturales et techniques sont tributaires de choix économiques et normatifs, mais le déploiement de l'innovation repose sur la contribution des acteurs sociaux : plus largement il s'agit d'envisager les conditions dans et par lesquelles l'innovation peut s'émanciper du cadre expérimental pour développer un programme de construction en vraie grandeur. L'objectif, in fine, est de questionner l'intérêt des matériaux d'origine naturelle, notamment bio-sourcés et géo-sourcés, au regard des situations actuelles de la construction –environnementales, climatiques, énergétiques et sociales–, et de l'engagement potentiel qu'elles appellent de la part des responsables du programme.

Nous aborderons successivement, dans une première partie, la façon dont la réalisation des lycées dans le cadre des Régions sont des programmes phares sur les plans politiques, techniques, urbains, architecturaux et la manière dont ces programmes sont présentés et identifiés comme porteurs d'innovation. Dans une seconde partie, nous traiterons de la mise en œuvre de l'innovation, autour de la restitution des bénéfices et des contraintes, du défi des pratiques à reconvertir (notamment la réorganisation dans l'approche méthodologique), et les modalités du suivi et de la vérification des performances.

L'AVENTURE D'UN LYCÉE EN BOIS ET EN PAILLE : UN PROGRAMME PHARE POUR LA RÉGION AURA

Le contexte

Le projet du lycée Saint Jean, qualifié unanimement d'exemplaire par son maître d'ouvrage, la Région AURA, comme par l'équipe de conception construction, était déjà en préparation par la Région Auvergne, mettant alors en avant l'importance de l'ossature bois, en lien avec l'économie de la filière bois. Ce programme était aussi l'occasion de travailler sur un enjeu fort à l'échelle de l'agglomération clermontoise pour une régénération inclusive d'un quartier sensible, le quartier des Abattoirs à Clermont-Ferrand, qui abritait notamment des entreprises fragilisées et de l'habitat d'urgence. Toujours soutenu après la naissance de la région AURA, cet enjeu important de requalification a poussé le Conseil Régional à aller plus loin pour ce projet et cela dans trois directions : énergie renouvelable, stockage carbone dans les matériaux et économie d'énergie. Toutes ces approches étant articulées à l'existence des ressources locales et à l'exigence de développement des territoires (emplois) sous tendue par la notion de circuit court (mobilités des personnes et des matières).

Un travail de mutualisation et de convergence de réseaux de différentes natures a aussi permis le portage de la démarche (organisations professionnelles mais aussi filière de la société civile et du monde associatif). Par exemple, l'action de Promobois, association nationale d'initiative publique (plan stratégie ETAT) pour promouvoir la filière bois au niveau départemental et régional, a une grande importance dans cette opération. Prévoyant des actions prescriptives mais aussi (et peut-être surtout) une mise en relation des acteurs appartenant plutôt au monde de la production qu'à celui de la prescription, il s'agit de développer des filières de transformation (soutenir le développement des filières) sur toute la chaîne, en s'attachant à tous les maillons quelque soit leur nature (par exemple inclusion de l'ONF), favorisant les premiers pas de l'écosystème qui va permettre la mise en œuvre des matériaux géo-sourcés. L'objectif poursuivi est de se mettre en capacité de réaliser les bâtiments du futur face au défi du changement climatique et en regard du développement local des (en) ressources propres.

Le programme du lycée Saint Jean

Destiné à accueillir 1500 usagers, s'étendant sur une surface de 16500 m² de planchers, pour un coût total de 46M€ total¹, le bâtiment présente une structure bois porteuse en bois local (4500m³ de bois = 2000 planchers /1700 structure /800 ossature) pourvue de 17000 bottes de paille locale en tant qu'isolant, soit environ 180 hectares de céréales moissonnées.

« Le projet affiche 148 kg/m² de matériaux biosourcés mis en œuvre, lui permettant de décrocher le label de performances énergétiques et environnementale de niveau E4C2 (niveau maximum). [...] Une prouesse puisque le label maxi biosourcé de niveau 3 est égal à 36 Kg/m² »². La production d'énergie est assurée par des panneaux photovoltaïques en toiture (800m²) et le bâtiment est chauffé au bois.

Les phases de conception-réalisation se sont déroulées sur trois ans (marché mars 2019/APD novembre 2019/Fin conception mars 2020/ travaux été 2020-printemps 2022/livraison mars 2022), dans le cadre d'un contrat de conception-réalisation-exploitation-maintenance (CREM). Ce marché est qualifié de "global" car il s'agit d'un marché public qui associe l'exploitation ou la maintenance à la conception et à la réalisation de prestations. Ce type de marché permet de faciliter

¹ Dont 38 M€ pour le bâtiment soit environ 2300€/m²

² Interview de Jean-Pierre Rambourdin, architecte du projet (CRR Ecritures architecturales), Sonia Reyne -19 Mai 2022 - latribune.fr

la conclusion de marchés publics de performances énergétiques afin de répondre aux enjeux nationaux en terme d'énergie et de climat³.



@CRR Architecture

Les représentations de l'innovation précèdent l'action

On peut observer que ce programme sert, au delà de la première fonctionnalité scolaire, plusieurs autres causes sociétales très actuelles, touchant plusieurs niveaux et l'insérant dans plusieurs échelles : l'environnement au niveau de la planète, l'économie nationale (soutien à l'émergence d'écosystème, innovation dans un secteur industriel complexe), le développement des ressources au niveau local (circuit court, développement économique de proximité, requalification urbaine), qui donnent une envergure démultipliée à l'opération.

La construction du lycée obéit à une quadruple volonté affirmée au préalable par la maîtrise d'ouvrage :

- Une structure porteuse en bois issu du massif central,
- Des matériaux bio sourcés (et géo sourcés) : isolation en paille issue de la plaine de Limagne,
- Un seuil minimal d'exigence de 36kg/m² de matières et plus si possible,
- L'économie d'énergie : la recherche d'un bâtiment passif.

La position de la maîtrise d'ouvrage est l'anticipation : anticipation sur l'évolution climatique, anticipation des performances constructives et thermiques envisagées, anticipation d'une responsabilité assumée des usagers. Cette posture anticipative construit des représentations de l'action qui vont être mobilisées dans la programmation de l'opération, et qui vont conduire aux arbitrages fonctionnels et techniques.

L'évolution des préoccupations en regard du changement climatique conduit à reposer les questions constructives face à des attentes renouvelées : aujourd'hui les préoccupations thermiques se concentrent sur la protection contre la chaleur (mode de rafraîchissement, coût et contraintes des systèmes et de leur fonctionnement).

Pas de climatisation dans le lycée Saint Jean : ce sont les murs et l'inertie des parois qui prennent la régulation thermique en charge (dispositif de ventilation mécanique/possibilité d'ouvrir les châssis

³ Pour donner suite aux lois Grenelle I et II, en dérogation au principe de l'allotissement prévu par l'article 10 du Code des Marchés Publics, l'article 73 autorise des marchés globaux avec engagement sur performance mesurable. Le marché CREM est régi par les articles 73 (et 168-2) et 37 du code des marchés publics (arrêté du 25 août et du 14 septembre 2001).

de désenfumage - déphasage thermique, débrayage free-cooling⁴), l'épaisseur des murs (36 cm) fabrique de l'ombre portée sur les ouvertures. Le bâtiment met en application des exigences de la RE 2020, avant sa mise en application réglementaire E+C-.

On peut noter cependant quelques limites à cet exercice anticipatif dans la mesure où, par exemple, le recours massif aux panneaux photovoltaïques peut mettre en péril l'équilibre pour la neutralité carbone, d'autre part le bâtiment n'est pas passif mais positif. Autre cas, les usagers « responsables » dans un édifice public (publics changeant) sont une thématique récurrente en architecture : éduquer l'habitant constitue un cheval de bataille pour les Hygiénistes du XIXe siècle puis pour les Fonctionnalistes Modernes du XX siècle. Ici, il n'est pas question d'éduquer l'utilisateur ou de le labelliser mais de lui donner la possibilité d'avoir la main pour débrayer la ventilation mécanique pour passer en ventilation naturelle. Cependant une étude sur le bâtiment expérimental de François Michelin à Bordeaux⁵, doté d'une cour couverte, montre que les informations se perdent et, peu à peu, personne ne sait comment faire fonctionner ou utiliser un système qui n'est pas d'un usage familier. Il faut former et sensibiliser quelques usagers au « traitement d'air » sur le long terme.

L'INNOVATION EN QUESTION

La mise en œuvre de l'innovation : bénéfique et contrainte

Pour l'agence d'architectes CRR Ecritures architecturales, ce projet/bâtiment/programme est novateur sur trois plans : la démarche, les principes urbains, les performances.

Concernant la démarche, le maître d'ouvrage met en avant une nouvelle acception de la performance (ce qui rend l'opération novatrice ET exemplaire), en effet jusque-là, pour ainsi dire, l'exigence de performance était bien présente mais il s'agissait de prévision (de calcul abstrait en quelque sorte) et donc d'une exigence de moyens, non de résultat. En cela, la réglementation thermique en France diffère des choix de nombres de pays Européens⁶, où, dans le neuf comme en réhabilitation, l'exigence porte sur les résultats, intégrant ainsi la mise en œuvre et ses aléas. Ici, l'exigence de performance est assortie d'un suivi de la mise en œuvre des performances (2 ans), il s'agit donc de prévoir aussi la procédure de suivi, un « marché global de performance ». Ces objectifs sont de façon volontaire, encadrés généralement par des Certificats de Performance Energétique engageant un mandataire, afin de garantir des valeurs de consommation énergétique pour le compte de la maîtrise d'ouvrage. Le cas échéant, le mandataire exprimera des mesures correctives après la livraison du projet et pendant les premières années d'exploitation : réglages de consignes, de systèmes de régulation.

L'engagement dans la démarche est portée par une entreprise générale accompagnée de co-contraintants constituant une équipe aux multiples compétences, entreprise qui s'engage par contrat pour que le bâtiment atteigne la performance envisagée et prévue au contrat (on ajoute donc une phase de première maintenance où l'on « teste » les performances). EIFFAGE construction pilote ici l'opération qui constitue dans son ensemble une première en Europe⁷.

⁴ Principe de fonctionnement d'un système de refroidissement passif qui consiste à surventiler un bâtiment en utilisant la fraîcheur de l'air extérieur en utilisant l'inertie d'un bâtiment, notamment la nuit, pour évacuer le surplus de chaleur de l'ambiance intérieure et en abaisser la température.

⁵ FLAMAND A., LAPORTE R. *Effet de serre. Techniques, usages et imprévisibilité. Évaluation de l'îlot Achard-Blanqui-Etrangers à Bordeaux et retour sur une opération des années 1980 à St-Étienne*. Paris : Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement / PUCA, 2018, 270 p.

⁶ Seule l'étanchéité à l'air fait l'objet d'une mesure effective dans le cadre de la RE2020.

⁷ CRR et EIFFAGE ont déjà travaillé ensemble sur un chantier similaire mais plus modeste : internat Roger Claustre en 2018. En effet, CRR porte depuis plus d'une dizaine d'années ces convictions environnementales, en particulier par J-P. Rambourdin

Les principes urbains servent l'objectif poursuivi par la ville de Clermont-Ferrand d'une réintroduction de la nature en ville, de la bio diversité, en rendant possible un dialogue des surfaces bâties avec un grand espace paysager (futur parc urbain à réaliser dans le quartier), par un projet résolument résilient implanté sur une ancienne parcelle industrielle. Si la ville souhaite dans son règlement urbain un travail d'alignement sur rue pour fabriquer un front urbain structurant, une grande liberté est laissée dans la définition de l'implantation sur la parcelle. S'agissant du premier programme catalyseur du quartier, il importe de montrer que le niveau d'exigence « bio » ne signifie pas un renoncement à l'architecture (visibilité constructive des structures porteuses bois se poursuivant dans les parois et parements intérieurs comme extérieurs, traitement de la compacité et de la lumière naturelle). L'éco-quartier promu par Clermont Métropole consacre ainsi un ensemble de 18000m² à la construction de ce lycée d'enseignement technique, affirmant en même temps la volonté du maître d'ouvrage de valoriser cet enseignement.

Quant aux performances, pour les responsables de l'opération, « elles sont prévues, elles sont atteintes, elles sont vérifiées »⁸. Ce sont des labels faisant varier deux indicateurs E+ (énergie) et C- (carbone), dont les niveaux combinés constituent une position standard qui établit au moins un bâtiment passif. L'empreinte carbone comptabilisée est celle de la fabrication du bâtiment et pas celle de son usage. Le lycée Saint Jean s'inscrit en niveau E4 (bâtiment produisant plus d'énergie qu'il en consomme) et en niveau C2 (calcul carbone comprenant la totalité du cycle de vie du bâtiment depuis le transport des matériaux, la mise œuvre et la déconstruction en fin de vie).

Le défi des pratiques à reconvertir : la réorganisation dans l'approche méthodologique

Outre le recours aux technologies de pointe en matière de conception et de construction (y compris le pilotage), et l'engagement du constructeur à recourir aux matériaux bio et géo-sourcés, on assiste dans cette opération à l'émergence de nouvelles conceptions en termes de méthode de travail, induites par le renouvellement mêmes des matériaux mobilisés. En effet, l'engagement du constructeur porte bien sur le recours au local comme ressources, au niveau des matériaux mais porte aussi au niveau des savoirs faire dans la production même.

D'autre part, si le pôle conception construction a recours aux systèmes les plus perfectionnés tels que la maquette BIM, qui a elle-même déjà en quelque sorte révolutionné l'organisation du travail en conception construction (introduction d'une réorganisation dans les temporalités de interventions des équipes de concepteurs, introduction du temps de la maintenance et de la vie de l'édifice...), l'expansion de la notion d'anticipation a modifié la relation à la construction en recréant des liens totalement différents entre les acteurs.

Quand le représentant d'EIFFAGE construction décrit le contexte de l'opération, il pointe deux séries d'éléments significatifs à ses yeux :

- L'engagement sur la performance avérée (volonté affirmée ET contractuelle = vérifiée sur les deux premières années),
- La nécessité de « casser un maximum de codes et d'habitudes notamment liés au béton armé » ce qui, pour lui, constitue un enjeu pour EIFFAGE construction.

Pour cela, trois postures méthodologiques sont revendiquées et affichées/exprimées :

- Être en pointe sur les questions environnementales : matériaux, technologie mais aussi ingénierie et aussi sur la réalité de l'entreprise elle-même « EIFFAGE a été le premier groupe à déposer son

qui crée l'équipe nécessaire à cette implication (crr ingénierie à côté de crr architecture) avec l'embauche notamment d'un ingénieur HQE.

⁸ Conférence FIBOIS 19 11 2019 (ENSACF) Jean-Pierre Rambourdin pour CRR, Thierry Julien direction AUVERGNE Eiffage Construction, Serge-Henri Gourbe BET Sylva (gérant Clermont-Ferrand), Bernard Lachaise Conseil régional service des bâtiments scolaires (lycées).

bilan carbone » « on est en pointe et on le prouve » ...(exemples mentionnés d'opérations à Bordeaux et Marseille),

- Miser sur le local à tous les niveaux et dans tous les secteurs : les matériaux mais aussi les circuits courts sont présents dans la composition des équipes de conception,
- Elargir les compétences vers des compétences autres, dans plusieurs autres car spécialiste d'autres ressources autre parce que locales (aller vers les acteurs de l'expérimentation, les réseaux de soutien...).

Les nouveaux matériaux et leurs nouvelles mises en œuvre conduisent à repenser les filières, notamment dans leur aspect industrialisé ici avec la paille, et obligent à inventer de nouvelles façons de faire et de piloter. En effet, comme le décrit le responsable EIFFAGE « quand on fait du béton cela roule tout seul et les modifications peuvent être intégrées presque en temps réel, si besoin », or l'utilisation des ressources locales rebat totalement les cartes dans les questions de logistiques : la paille est par exemple retenue et achetée un an à l'avance, il faut réfléchir au stockage, établir un atelier pour assembler les panneaux près du chantier (pérennisation ou non de cet atelier mutualisation ?) ...il faut changer les comportements en reprenant dans une autre logique la maîtrise des plannings qui constituent la difficulté première et principale.

L'analyse de ces discours pose de nombreuses questions. La notion de « paille retenue un an à l'avance » est un bouleversement en soi. La paille est un co-produit d'une céréale (blé, froment...) qui a son marché spécifique. Jusqu'ici la paille retournait au champ après usage comme litière dans l'élevage, en constituant alors un apport au sol. Les flux en œuvre dans la filière paille étaient jusqu'à aujourd'hui limités au monde agricole (céréales/ élevage/retour au sol). Dès lors, quels impacts pour le monde agricole et pour une économie locale lorsque des flux s'exportent vers des usages externes et donc un non retour au sol ?⁹ D'ailleurs, au regard de l'exploitation de la paille, l'entreprise Limagrain a exprimé le fait que dans la paille, il n'y avait pas beaucoup de déchet et qu'une grande partie était réemployée : s'agirait-il alors d'initier une production pour le bâtiment ? Par quel modèle économique ? Environnemental (partie vivante de la plante qui fixe le carbone, pas l'édifice) ? Culture intensive au regard des quantités si l'on devait construire en « tout paille » ?

La nécessité de « casser un maximum de codes et d'habitude notamment lié au béton armé » traduit-elle une nécessité et/ou une volonté ? Une action en interne ou une diffusion pour l'externe ? Il s'agit peut-être d'un moyen de redéfinir une image et/ou des principes de fonctionnement et une culture d'entreprise. La comparaison avec le gymnase, équipement associatif et sportif du quartier Saint-Jean qui verra le jour à Clermont-Ferrand en juin 2023, pourrait être féconde. En effet, une grande parenté dans le processus est mise en œuvre : très haut niveau de performance visé (label E4 C2), structure bois paille et configuration similaire dans le contrat et les acteurs mobilisés (marché global de performance qui comprend la conception, la construction ainsi que la maintenance et l'exploitation pour les trois premières années, par un groupement Bouygues Bâtiment Sud-Est –mandataire– et cabinet CRR Ecritures architecturales de Clermont-Ferrand).

Enfin, l'engagement sur la performance avérée entraîne le déploiement de moyens et l'acceptation de contraintes juridiques et financières, et peut-être la tentation de dupliquer le système (création de machine pour remplir les panneaux de paille...) transformant le prototypage en série, interroge sur le passage du modèle à la grande échelle.

Le défi du suivi et de la vérification : l'engagement

La conduite de l'innovation peut être documentée par l'observation des itinéraires techniques dans le pas à pas des démarches. Ces itinéraires permettent de reconstituer les

⁹ La plaine de la Limagne produit potentiellement 36000 hectares.

conditions sociales nécessaires au passage de l'invention à l'innovation. Le circuit qui part des premières expériences de constructions en paille, expériences pratiquement individuelles et qui finit par aboutir au bout de 15 ans à la construction d'un édifice public hautement sensible (bâtiment recevant un public scolaire) est tout sauf un cheminement mécanique linéaire.

L'innovation nécessite un engagement fort à la hauteur des enjeux (ici un contrat de performance énergétique dont le succès engage l'avenir des filières de production), en raison des résultats obtenus (performance), ambigus et paradoxaux en raison des formes de l'évaluation des performances prise dans des « conflits d'objectifs, [et la] polysémie des outils de mesure »¹⁰. Nous allons voir que cet engagement entraîne des surcoûts financiers (temps de travail et prestations complémentaires) liés aux nouvelles méthodes.

La mesure de la performance s'adosse à de nouvelles données à valider : l'actualisation des vraies valeurs par la validation et l'actualisation permanente des fiches FDES. Ce système est très efficace car il entraîne l'ensemble des acteurs : les entreprises, mais aussi en amont les fabricants de produits (malgré le danger de limiter le nombre de produits conformes). Un effet de convergence s'en dégage car il y a une optimisation des processus énergétiques pour les matériaux, les matières premières mais aussi les façons de faire : chantiers propres (déchets, eau, électricité), panneaux solaires sur la base vie, fiches de suivi aussi pour les bennes : tout cela est valorisé dans le label. Ce travail est déjà présent en phase concours, constitue par la suite un supplément de travail pour tous, y compris dans le suivi de chantier comparé à la gestion d'un chantier standard (nous y retrouvons la question de la prise en charge par les acteurs suivant des motivations différentes ou bien s'exprimant de façon différente)¹¹. La mise en œuvre des dispositifs pour atteindre des performances plus élevées (passer de l'attente E3C1 à E4C2) occasionne un surcoût qui va être financé par la mobilisation d'aides financières qui existent pour soutenir les efforts de performances et l'usage de bio-sourcés, ce qui permet d'équilibrer le surcoût et de rester dans l'enveloppe du marché.

Pour le suivi de la performance, le point de départ est le modèle STD « simulation thermique dynamique », construit par la maîtrise d'œuvre pour simuler à l'aide d'un modèle numérique le comportement thermique d'un bâtiment. Il est fondé sur des paramètres techniques et des caractéristiques fonctionnelles : parois, toitures, déperdition/inertie des matériaux, mais aussi implantation géo-topographique, scénarios d'occupation... ce qui conduit à des déterminations à la fois complexes et précises.¹² EIFFAGE extrait des données du STD élaboré par la maîtrise d'œuvre et s'en sert pour effectuer le suivi des performances prévues dans l'engagement énergétique du marché. En effectuant des mesures qui vont être intégrées avec le modèle STD, la visualisation en situation réelle des performances postulées dans le modèle est rendue possible. Au cours de la phase de suivi, les marqueurs de consommation par exemple seront comparés aux chiffres prévus dans le modèle initial.

Ce suivi est à la base de l'engagement et de la réalisation des objectifs contractuels du marché CREM (marché de conception, de réalisation et d'exploitation ou de maintenance) et en constitue le cœur. La rémunération du titulaire est liée à l'atteinte des performances prévues : il doit remplir des objectifs chiffrés de performances définies par le contrat. Ce type de marché

¹⁰ Norbert ALTER (dir), *Les logiques de l'innovation*, Paris, La Découverte, coll. Recherches, 2002, page 9.

¹¹ De même pour le très important travail de synthèse réalisé par les bureaux d'études et les concepteurs (ici considéré comme très long –6 mois– par un double spécialiste du BIM et de la synthèse), et pris en charge financièrement par EIFFAGE.

¹² Cette méthode de modélisation, qui consiste à représenter numériquement un bâtiment via un logiciel a été mise au point pour répondre aux exigences environnementales et aux attentes en termes d'efficacité énergétiques dans les constructions neuves et/ou rénovées (label E+ C-, RE2020...)

implique, d'une part que les objectifs¹³ sont définis notamment en termes de niveau d'activité, de qualité de service, d'efficacité énergétique ou d'incidence écologique, et, d'autre part que ces objectifs doivent être mesurables au cours ou au terme du marché (marché dont la durée tient compte des délais nécessaires à la réalisation de ces objectifs).

L'engagement d'EIFFAGE se situe donc dans ce rapport entre performance visée et performance effectivement atteinte sur la durée du contrat. Il se décline en liste d'engagement par poste (exemple chauffage, confort d'été, etc..), la définition des cibles à atteindre constituant un des facteurs de réussites de ce type de marché pour lequel il est primordial de bien approcher les objectifs et les valeurs cibles. La nature même des paramètres est aussi primordiale (phénomènes physiques mais aussi comportements des usagers) et peut conduire à la mise en œuvre simultanée d'études de sensibilité ou encore de formation en direction des utilisateurs.

La question du risque est cadrée par les règles : tous les acteurs ont choisi ici de pousser plus loin les curseurs concernant les attendus de la RE2020. En effet, les performances visées ont concouru à une labellisation ~~dans le label~~ E+C-, où, alors que les attendus étaient E3C1, le programme a développé E4C2. Il y a une différence entre atteindre un seuil dans ces curseurs et le faire labelliser. EIFFAGE en a fait un élément de communication et de valorisation de l'entreprise en allant jusqu'au bout, c'est à dire en payant sur ses fonds propres la labellisation.

Le risque est donc essentiellement supporté par EIFFAGE qui va intégrer une catégorisation précise des variables : des phénomènes quantifiables basés sur la STD aux variables « sensibles » que constituent les niveaux et modalités d'occupation des espaces, la gestion de la ventilation naturelle par l'intervention sur les ouvertures, ces dernières pouvant constituer une marge d'ajustement de la performance. L'innovation dans ce cadre est basée sur l'arbitrage de la prise de risque, cette dernière reposant ici sur la construction du protocole de suivi.

Ce retour d'expérience sur la simulation opérée par l'entreprise de construction à partir des préfigurations établies par les concepteurs, repose sur la finesse de la déclinaison des moyens de mesure et sur l'élargissement de leurs périmètres (nous passons de l'échantillonnage aux mesures globales de l'ensemble des locaux, et des paramètres scientifiques aux variables des usages). La gamme des performances s'en trouve potentiellement très élargie, ce qui enrichit l'approche des conditions nécessaires au développement des pratiques environnementales.

Cette dimension d'engagement est mobilisée dans toute la chaîne de décision. Ainsi Laurent Wauquiez, président de la Région AURA, se déplaçant pour inaugurer le lycée Saint Jean rebaptiser le lycée Gergovie a déclaré, au cours de la visite de fin de chantier : « Ce nouveau lycée est l'incarnation de la capacité que nous avons en Auvergne de mettre nos différences de côté pour faire sortir de grands projets ambitieux et utiles pour nos habitants »¹⁴.

Premières conclusions

Au terme de cette première phase d'enquête, des spécificités émergent, comme moteurs dans le processus d'innovation.

En premier lieu, l'importance des représentations de l'innovation qui sont à la base de l'action et la précèdent : un travail de mutualisation et de convergence de réseaux de différentes natures fini par produire un écosystème de réflexion et de production.

¹³ Par exemple dans le cadre d'un tel marché relatif à une chaufferie bois sur réseau de chaleur, les objectifs de performance à respecter peuvent porter sur les éléments suivants : les niveaux d'émissions atmosphériques, un taux de couverture EnR annuel, un nombre d'heures équivalent nominal, un rendement moyen annuel de distribution du réseau de chaleur, un taux mensuel et annuel de plaquettes forestières, un niveau de consommation d'électricité pour le fonctionnement de la chaufferie centrale et du réseau de chaleur, un taux d'interruption local du service...

¹⁴ auvergnherhonealpes.fr *Le nouveau lycée de Clermont-Ferrand s'appellera Gergovie*

D'autre part, le développement de l'inventivité, là où ne l'attend pas : l'exemple de l'achat de la paille, achat qui obéit à un engagement local entre autres sur les prix. Le maître ouvrage des lycées « paille » réalisés par CRR en Vendée achète la paille lui-même par le recours à un appel offre Etat séparé, établissant, lors des offres, une cotation de critères discriminants sur la distance au lieu de production/ consommation pour s'assurer de la filiation locale.

Enfin, l'économie d'échelle. Les processus observés changent en fonction des échelles des situations : l'innovation en vraie grandeur que permet la synergie Région/grand groupe BTP/très importante agence d'architectes, permet de passer de l'expérimentation à l'innovation, surmontant les obstacles par l'effet structurant de la convergence (alors que le réseau français de la construction en paille, fondé en 2009, rassemble des individualités dont le travail collectif a permis en 15 ans de stabiliser les façons de faire et d'établir des recommandations mais dont la masse critique et l'indépendance des acteurs fait désormais plafonner l'action).

L'innovation est perçue positivement comme facteur d'accélération de la dynamique économique mais elle entraîne des conflits de temporalité entre contenus, acteurs et institutions de régulation (normes). Elle ne devient effective que quand des acteurs en tirent une plus-value identitaire (nouvelle image) ou en terme d'influence (poids économique, poids symbolique), ce qui conduit à la production d'un imaginaire d'enchantement qui est repérable, par exemple, dans les documents produits par EIFFAGE construction sur sa Tour Hyperion, « première tour d'habitation en bois construite en France », livrée en 2021 à Bordeaux. C'est le paradoxe de l'innovation, entre engagement fort incontournable, créativité collective et résultats incertains.

REFERENCES

- [1] Arnaud Evrard, « Thermal inertia and moisture regulation of straw bale buildings with earth plasters », *Buildings*, 2017, p. 11
 - [2] Construction & Bioressources - Collectif, Current State of Knowledge on the Hygrothermal Behaviour of Bio-based Materials, Technical Document C&B, février 2013.
 - [3] Norbert ALTER (dir), *Les logiques de l'innovation*, Paris, la Découverte, collection Recherches, 2002.
 - [4] Dominique DESJEUX, « L'innovation entre acteur, structure et situation » in *Les logiques de l'innovation*, Norbert ALTER (dir), 2002.
- Conférence FIBOIS 19 11 2019 (ENSACF)
Jean-Pierre Rambourdin pour CRR, Thierry Julien direction AUVERGNE Eiffage Construction, Serge-Henri Gourbe BET Sylva (gérant Clermont-Ferrand), Bernard Lachaise Conseil régional service des bâtiments scolaires (lycées)
 - Dossiers de presse
clermontinfo63.fr *Le quartier Saint Jean poursuit sa mutation*
auvergnerhonealpes.fr *Le nouveau lycée de Clermont-Ferrand s'appellera Gergovie*
lemoniteur.fr Clermont-Ferrand *Le lycée Saint-Jean, construction exemplaire*
région-aura.latribune.fr *Un lycée clermontois construit par Eiffage devient l'un des plus importants chantiers en paille en France*
eiffageconstruction.com *Eiffage Construction va construire le futur lycée de l'agglomération clermontoise en bois et en paille*