

Le bâtiment, entre idéal et réalité : les facteurs clés du succès de la transition énergétique

Par Étienne CRÉPON

Président du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB)

et Hervé CHARRUE

Directeur général adjoint du CSTB et directeur Recherche et Développement du CSTB

Acteur majeur du changement climatique, révélant des interactions multiples avec le système urbain, le bâtiment peine cependant à concrétiser sa nécessaire mutation. Trois raisons à cela : 1) le parc, ancien, est peu ou mal connu ; 2) les innovations restent sectorielles, incrémentales, et faiblement systémiques, et, enfin, 3) la capacité de production du secteur et la qualité de celle-ci restent insuffisantes au regard des objectifs de rénovation 2050 et des performances escomptées.

On peut identifier trois axes majeurs pour une rénovation du parc bâti qui soit massive, performante et intégrée, visant l'optimisation du système urbain dans ses différents usages : l'installation d'un observatoire de l'existant et du neuf pour identifier les besoins d'innovation spécifiques qu'appelle un usage efficient dudit parc ; une évaluation des performances socioéconomiques et techniques réelles de la rénovation aux échelles du bâtiment, du quartier et de la ville durables ; et, enfin, le développement d'une approche industrielle allant des composants et des systèmes jusqu'au bâtiment, dans l'optique de l'accroissement de la performance économique des acteurs du secteur, de la qualité et de la performance des réalisations, de l'instauration d'une filière professionnelle revalorisée et donc attractive. La transition numérique, *via* le traitement de la donnée (dans son acception la plus large), le développement d'outils d'analyse, de simulation, d'optimisation, de formation... – tous numériques –, est l'innovation de rupture que le secteur se doit de ne pas manquer, sans pour autant perdre ce qui est son essence même, à savoir : sa capacité d'adaptation dans la durée, une capacité de résilience qui est le gage de sa pérennité.

En France, le secteur du bâtiment représente 43 % de l'énergie consommée (avec 69 Mtep) et 20 % des émissions de gaz à effet de serre (soit plus de 88 MteqCO₂). C'est avec les transports, un des secteurs clés de la transition énergétique dans la réponse au réchauffement climatique. Avec un taux d'urbanisation de 80 % et une démographie parmi les plus dynamiques d'Europe, ainsi qu'une mobilisation croissante des ressources, le bâtiment français et son environnement urbain sont donc plus que jamais au cœur des problématiques sociologiques, économiques et techniques du XXI^e siècle.

Une modification radicale dans la perception des impacts du changement climatique a conduit l'ensemble de la société à réinterroger les principales contributions et interactions des différents composants de l'urbain au regard

des usages – bâtiment, mobilité, réseaux énergie-eau-déchets... – et des aspirations des citoyens dans ces différents domaines.

Avec plus de 80 % de notre existence passés à vivre dans des bâtiments, le parc construit (environ 3 milliards (Mds) de m² pour 34,5 millions de logements et 1 Md de m² de bâtiments à usage tertiaire) est au cœur de bon nombre de préoccupations que ce soit en termes de social (accession au logement, mixité sociale, aménités urbaines, services), d'adaptabilité aux cycles de vie et d'activité des usagers (parcours résidentiel, connectivité, vieillissement), d'économie (foncier, coût d'exploitation, patrimoine), mais aussi, tout autant, de santé (acoustique, qualité de l'air), de bien-être (qualité de vie, biodiversité, transports) et de réduction des impacts énergétiques et environnementaux

(économies d'énergie, impact sur les ressources naturelles, économie circulaire, énergies renouvelables...).

Plus question donc de penser le bâtiment comme un composant isolé et quasi indépendant d'un système urbain et périurbain, dans lequel il s'inscrivait trop souvent selon une conception très locale et non connectée. L'heure est à une approche systémique et transversale, rendue aujourd'hui possible par l'évolution du numérique et de l'information, pour peu que l'on sache concilier deux approches : celle du bâtiment conditionné dans beaucoup de ses dimensions par le temps (pour sa durée de réalisation, sa résilience, sa robustesse, sa longévité, son adaptabilité, et ce, tout au long du cycle de vie des usagers), et celle, plus actuelle, de l'instant et de l'individualisation associés à l'ère digitale. Le défi est donc bien de conjuguer toutes ces composantes, aux différentes échelles temporelles pour les optimiser au travers à la fois de leur mutualisation et de leur individualisation.

Pour ce qui relève de l'énergie, cette vision systémique doit permettre de répondre aux enjeux d'adaptation de la production, de la consommation et du stockage pour les différents usages, aux échelles du bâtiment lui-même, de l'îlot, du quartier, de la ville et du territoire. Elle se traduit partiellement par l'approche *smart grid*, laquelle est basée sur un couplage entre une énergie mutualisée/distribuée et un stockage rendu indispensable par l'intégration potentielle et programmée des énergies renouvelables, des co-productions et de récupérations d'énergie-chaleur dans une mixité des réseaux tertiaire-logement et d'une synergie bâtiment-mobilité à venir.

Cet ensemble met en perspective un gisement d'économies potentielles sans commune mesure avec celles issues d'approches uniquement sectorielles. Cela nécessite néanmoins que les besoins en énergie et les différents usages qui en sont faits soient connus et pris en compte, et ce, à différentes échelles spatiales et temporelles. Il importe dès lors de s'engager concomitamment et de manière non exclusive sur les voies de la réduction des consommations, de productions faiblement carbonées, d'une optimisation de la demande, des réseaux et des mix énergétiques, et ce, sans qu'il y ait décroissance dans les usages.

Ces préoccupations trouvent une résonance toute particulière dans la structure même du parc bâti existant, que l'on peut qualifier d'ancien.

Mais même avec un taux de renouvellement d'environ 1 % (logement + tertiaire) et même s'il affiche environ 130 Md€ de chiffre d'affaires annuel, mobilise plus de 1,4 million d'acteurs et représente plus de 7 % du PIB, le secteur du bâtiment apparaît en tension permanente. Alors que les attentes tant politiques que citoyennes sont fortes face aux objectifs et aux échéances définis aux niveaux national et européen, notamment en termes d'énergie et d'environnement, l'ensemble du secteur peine à s'organiser et à s'engager en conséquence. Pourquoi ?

Une méconnaissance du parc des bâtiments, ainsi que des usages et comportements associés

Certes, des données statistiques existent : localisation, typologie, années de construction, consommations, usages, revenus... Mais la nature même et la répartition du parc, notamment pour le logement (56 % individuel, 44 % collectif ; 62 % de propriétaires), restent un frein structurel à la production d'informations détaillées directes ou indirectes, tant techniques que relatives à l'usage, d'une part, du fait du processus de construction lui-même, lequel, entre les acteurs des phases de conception, de réalisation et de gestion, laisse peu de place à une traçabilité centralisée et effective de la réalité de chaque bâtiment, et, d'autre part, (principalement pour les usages) du fait de limitations liées à la protection de la vie privée.

L'historique des évolutions d'un bâtiment, et plus encore pour ce qui est du logement en secteur privé, reste peu voire pas du tout documenté, à l'exception du tertiaire et du logement social, qui relèvent plus d'une logique de gestion de patrimoine. Cependant, les bâtiments sont tous organisés autour de composants passifs d'enveloppe à la fois structureaux, d'isolation thermique, d'isolation acoustique ou d'étanchéité, et de systèmes actifs, comme les équipements de chauffage, de production d'eau chaude sanitaire, de ventilation et d'éclairage. Mais du fait des spécificités des bâtiments – typologie, géolocalisation – et de celles des acteurs individuels – de par leur capacité d'endettement, sans parler de leur engagement citoyen –, il est difficile de spécifier un ensemble de solutions qui soit adapté à la rénovation de chacun d'entre eux, au-delà d'une approche générale.

Cela a un impact à la fois sur l'équation économique qui ne peut s'appuyer sur une logique de massification permettant une réduction des coûts, mais aussi, et surtout, sur la réalité des performances *in fine* des constructions réalisées, en particulier des performances relevant de l'énergie, et ce, tant en rénovation qu'en neuf. Celles-ci, malgré les réglementations, restent aujourd'hui, sur le plan énergétique, très en deçà des objectifs visés du fait d'erreurs de conception ou de mise en œuvre, ainsi que (mais dans une moindre mesure) d'usages inappropriés. Seule une véritable approche performantielle, avec, à terme, une obligation de résultat, conduira à une mutation radicale par rapport à la situation actuelle.

L'observation des parcs ancien et neuf, avant et après rénovation ou réalisation, doit permettre d'identifier les solutions les mieux adaptées aux conditions d'usage locales/globales du bâtiment dans son environnement urbain, et ce, dans un contexte économique adapté.

Le passage à l'ère numérique est en ce sens une réelle opportunité, mais elle reste un grand défi pour le secteur. En permettant de structurer des données effectives relatives à la description de chaque bâtiment en tant qu'ensemble

technique, en y surimposant des données d'usages tant sociologiques et comportementaux qu'économiques..., il permettra d'avoir une vision transversale nécessaire à l'optimisation multicritères. Basée sur un ensemble d'outils de simulation appropriés, celle-ci rendra possible l'accompagnement des acteurs publics et privés dans une amélioration de leurs plans d'aménagement et de rénovation, ainsi que des systèmes de financement et d'aide associés.

Mais encore faudra-t-il que les solutions technologiques, organisationnelles, économiques et juridiques supportées par l'innovation (au sens large de ce terme) le permettent réellement.

Une capacité limitée en matière d'innovations de rupture, à laquelle s'ajoutent des contraintes en constante évolution

Avec environ 0,1 % consacré à la R&D, pour un chiffre d'affaires d'environ 130 milliards d'euros, en l'absence d'intégrateur, et étant constitué, en dehors des quelques grands groupes de construction, en quasi-totalité de TPE-PME, le secteur du bâtiment reste économiquement atypique. Même s'il existe un nombre important d'innovations qu'accompagnent les différentes politiques de développement aux niveaux régional, national et européen, force est de constater qu'elles restent, le plus souvent, incrémentales. Au-delà de l'actualité du digital, elles n'ont, pour la majorité d'entre elles, que peu intégré la nécessité de leur interopérabilité au sein d'une chaîne de valeur optimisant à la fois des composants passifs et des composants actifs, et ce, à l'échelle locale du bâtiment et/ou à celle, mutualisée, de l'îlot urbain ou du quartier.

Et c'est très certainement dans ce cadre que la perspective de synergies positives, notamment énergétiques, est la plus prometteuse, pour peu que l'on rapproche cette orientation d'une connaissance améliorée du parc et de ses usages. Aussi la description des bâtiments dans le cadre du processus *Building Information Model* (BIM), constitue-t-elle une base de données structurante pour le secteur. Couplée aux outils de simulation multi-échelles, elle permet de simuler le comportement du bâtiment soumis à différentes sollicitations et d'accompagner efficacement le développement de solutions innovantes.

La différenciation entre le neuf et l'ancien continue néanmoins à conditionner la démarche. D'un côté, le neuf, très précisément décrit, peut apparaître comme un composant permettant, dès la conception, la prise en compte des contraintes induites par l'intégration aux échelles de l'îlot, du quartier ou de la ville. De l'autre, l'ancien, par sa diversité et sa faible caractérisation, doit pouvoir être amélioré et intégré aux systèmes de management de l'énergie sans surcoût rédhibitoire, idéalement au moyen de solutions industrialisées. En cela, la réduction des consommations par le recours à des composants passifs (isolation, ouvrants, sol) reste la solution prioritaire, tout en y couplant de manière coordonnée les évolutions des technologies de production de chaleur, de froid et d'eau chaude sanitaire, et les technologies de ventilation.

Néanmoins, le paysage des innovations reste contrasté, ne faisant le plus souvent qu'intégrer et adapter les avancées de secteurs connexes, comme le BIM, et encore tardivement. Mais toutes les innovations, en s'inscrivant dans des échelles bien plus larges, conduisent à revisiter les cadres réglementaires, que ce soit en termes de sécurité (incendie, stabilité structures), de santé (qualité de l'air, acoustique), d'énergie, d'environnement, d'économie et, plus particulièrement, le volet juridique (lequel est aujourd'hui « orphelin » en termes de recherches menées sur ce secteur). Même si bon nombre de problématiques sont en attente de solution innovante quant à leur intégrabilité, numérique en particulier, et nécessitent donc des investissements dans la R&D, il importe qu'*in fine*, une véritable réflexion de politique industrielle soit engagée quant aux choix de solutions devant être effectivement promues de manière massive.

Pour ce qui relève de l'énergie à l'échelle du bâtiment, et ce, pour les matériaux de construction et les composants passifs, les technologies de production sont souvent matures (ou tout au moins identifiées). Toutefois, les approches combinées de transposition/substitution de constituants, ou de modification de *process* sous contraintes énergétiques, environnementales (gaz à effet de serre, polluants, eau) et sanitaires, ainsi que de disponibilité de la ressource, conduisent à réévaluer les caractéristiques des produits quant à leur intégration dans les différents systèmes constructifs. L'émergence rapide de produits issus de l'économie circulaire qui, au-delà de la réutilisation de composants ouvrant la voie aux matières premières secondaires issues de secteurs industriels connexes, pose la question des risques sanitaires potentiels, du fait d'une faible traçabilité de leur composition physicochimique à l'échelle micro (présence de nanotubes de carbone, de fibres d'amiante...).

Pour ce qui concerne les équipements de production de chaleur, les chaudières à haute performance (à condensation, à basse température) sont en limite haute et doivent laisser la place aux technologies des pompes à chaleur, de micro-cogénération, au gaz biomasse et aux piles à combustible stationnaires. Le développement de réseaux de chaleur à l'échelle d'un quartier couplés à ces dernières solutions dans une logique d'échanges énergétiques reste à évaluer tant sous l'angle de la disponibilité de la ressource et des services rendus que sous celui de l'équation économique globale. Les pompes à chaleur restent d'un coût très élevé, en particulier pour la rénovation. L'industrialisation de technologies innovantes devrait permettre une forte pénétration de ce type de solution, notamment les applications géothermiques en ce qui concerne la capacité chauffage/refroidissement.

En matière d'énergie spécifique, les innovations à venir seront le fait de l'industrie électronique : dans leur grande majorité, elles sont basées sur une réduction notable des consommations. Cependant, le bénéfice qui peut y être associé a tendance à être annulé par une modification des comportements basée sur la multiplication des équipements (produits bruns, blancs, multimédia...) et par un effet rebond pour les solutions en production-autoconsommation.

À l'échelle des systèmes bâtiment-quartier-ville, où se situe l'enjeu de l'optimisation énergétique, le développement de solutions de production d'énergie renouvelable couplées aux réseaux d'énergie et de mobilité devra prendre en compte les différents gisements ainsi que les énergies fatales, en fonction des intermittences et des solutions de stockage associées, renouvelables et non renouvelables. Cependant, il conviendra de faire en sorte que les potentiels des solutions solaires et éoliennes à l'échelle urbaine ne soient pas surestimés du fait de leur forte dépendance à la surface, donnée antinomique avec la logique de densification urbaine. Quoi qu'il en soit, l'optimisation de la gestion de la demande d'énergie (vs celle de la production et du mix énergétique) reste un des enjeux majeurs de la recherche, car elle est au cœur de la transversalité technologies-usages-économie.

Une capacité de production insuffisante pour atteindre les objectifs 2050 de rénovations et de constructions neuves

Avec environ 8 millions de rénovations de logements existants, soit 20 fois plus que la production de logements neufs (375 000 à 400 000), dont plus de 38 % (~ 3 millions) ont un impact sur les consommations énergétiques, on pourrait penser que la dynamique de rénovation du parc est engagée. Mais une analyse détaillée montre que les rénovations énergétiques, notamment pour le logement individuel, mais aussi pour le logement collectif, ne sont pas complètes, étant trop dispersées entre les différentes composantes – isolation des murs, des planchers, des toitures, ouvrants, chauffage, eau chaude sanitaire et ventilation. En effet, la dépense moyenne est d'environ 5 000 € par logement, alors qu'avec une surface moyenne de 91 m², la dépense totale évolue entre 300€ m² et 600€ m², soit 5 à 11 fois plus, suivant le niveau de performance visé. Si l'on s'essaie à une comparaison moyennée par rapport à la dépense totale, chaque année la rénovation énergétique partielle de 38 % des 8 millions de logements correspondrait à la rénovation énergétique complète de 380 000 logements, ce nombre équivalant à la production dans le neuf, soit un peu plus de 1 % du parc. Mais avec des différences significatives : la rénovation est généralement effectuée en site occupé, son intensité en main-d'œuvre est moindre, mais les coûts d'intervention sont plus élevés, et l'insuffisante solvabilité des ménages, malgré les politiques d'aides de l'État, ne permet pas à une majorité de ceux-ci d'engager la totalité de la dépense nécessaire à la rénovation.

En surajoutant à la production actuelle l'orientation vers + 500 000 logements rénovés/an, et en prenant en compte la qualité relative des réalisations en regard des performances effectives, il apparaît clairement que la capacité de production ainsi que le niveau de qualification nécessaire à cette ambition font aujourd'hui cruellement défaut. Que ce soit dans l'activité telle qu'elle existe aujourd'hui, mais plus encore dans la perspective de la généralisation du processus BIM, qui ouvre la voie à la mutation numérique des différentes spécialités. Les outils numériques seront, à n'en pas douter, un élément clé de la formation aux métiers existants et à venir en permettant d'adapter l'apprentissage à des populations souvent en rupture par rapport à l'enseignement traditionnel. Même si les formations de haut niveau visant l'interconnexion entre les différentes technologies se développent, il faut que les fonctions principales, pour ne pas dire historiques, du bâtiment soient revalorisées et rendues ainsi plus attractives afin d'assurer le niveau de performance escompté.

En résumé, on rappellera ce que sont, pour le secteur du bâtiment, les trois axes et les facteurs clés associés garantissant le succès de la transition énergétique : une connaissance des usages et un suivi généralisé du parc, un accompagnement des innovations tant passives qu'actives, dans leur formulation et dans leur évaluation en termes d'impact sur le bâtiment intégré au système urbain tant du point de vue énergétique qu'environnemental, mais aussi sociologique et économique, et une formation des acteurs adaptée à l'évolution du bâtiment et des technologies qui y sont associées.

L'ensemble de ces objectifs passent par une intégration, dans toutes les phases du processus constructif (conception, réalisation, gestion, formation), des composantes numériques au sens large, que ce soit la donnée, mais plus encore la simulation numérique, la réalité virtuelle, et ce, grâce à une industrialisation effective des différents composants et systèmes allant jusqu'au bâtiment lui-même (production *off site*, *on site*) et conduisant à un niveau de qualité optimal grâce à la formation des divers acteurs aux technologies et aux nouveaux modes et structuration de la construction qu'ouvre l'ère numérique.

Situé en bout de chaîne, le bâtiment, ce composant majeur pour l'énergie et l'environnement, est par définition un intégrateur. Certes, il évolue lentement, mais les interconnexions à l'échelle urbaine sont inéluctables, et il saura s'adapter en conséquence. Faisons tout pour qu'il accélère son évolution...