

DOCUMENT DE RÉFÉRENCE
DE LA RECHERCHE

2030

Z

O

R

S

T

A

CSTB

LE FUTUR EN CONSTRUCTION

SOMMAIRE

04

—
AVANT-PROPOS

—
06

—
ARTICULATION DE NOS FEUILLES DE ROUTE

—
08

—
BÂTIMENTS ET QUARTIERS POUR BIEN VIVRE ENSEMBLE

—
18

—
BÂTIMENTS ET VILLES FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

—
28

—
**RÉNOVATION, FIABILISATION
DE L'ACTE DE CONSTRUIRE, INNOVATION**

—
42

—
**ÉCONOMIE CIRCULAIRE ET RESSOURCES
POUR LE BÂTIMENT**

—
56

—
LA POLITIQUE PARTENARIALE DU CSTB

—
68

—
LA POLITIQUE DOCTORALE DU CSTB

—
73

—
CONCLUSION ET PERSPECTIVES



AVANT-PROPOS

LE CSTB

(Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) peut se targuer d'une maturité plus que certaine sur le sujet du bâtiment, de par sa création au siècle dernier, en 1947. Ses références historiques lui confèrent sensément la capacité « d'imaginer » l'avenir de celui-ci, au moins par l'expérience du passé. Mais aussi celle d'accompagner le quotidien de la construction dans ses différentes réalisations et évolutions.

Pour ce qui est de sa recherche, le CSTB souffre néanmoins d'un syndrome majeur d'anonymat. Ou d'ésotérisme pour les profanes, c'est selon. Nul ne conteste cependant son rôle principal et permanent dans l'évolution de la construction.

Sur la sécurité d'abord, dans une approche de maîtrise des risques naturels et accidentels, réinterrogée par le changement climatique. De même sur la santé et le confort, dans les différents usages quotidiens du bâtiment. Sur les enjeux énergétiques et environnementaux et l'évolution nécessaire des performances du parc. Et bien évidemment sur l'économie et les usages, tous deux au sens large, allant de l'individu, du citoyen, au secteur d'activité qu'est la construction. Secteur qu'il faut accompagner et développer dans une modernisation numérique essentielle pour répondre aux espoirs qui reposent sur lui, face au défi que constitue son adaptation au changement climatique.

Le CSTB n'est-il pas au cœur des enjeux démographiques, environnementaux, sociaux, économiques et plus largement sociétaux ?

Dans des contextes et face à des enjeux déjà bien identifiés, et pour lesquels il est une clé à la fois primordiale, et une cause aussi, pour répondre aux différents points précédemment cités ?

Certes, mais concrètement, que représentent ceux-ci dans le monde actuel où l'information, réduite à quelques lignes, pour ne pas dire caractères, fait foi face à la démarche scientifique qui, elle, nécessite à la fois du temps, de l'investissement et un esprit critique ?

Il est malheureusement vrai que les recherches que mène le CSTB restent dans un entre-soi confortable de scientifiques, souvent peu enclins à une vulgarisation pédagogique. Et, pourtant, tous les sujets du bâtiment s'y prêtent, ce qui permettrait à ses utilisateurs d'identifier facilement leur rôle et leurs impacts dans les différentes situations d'usage.

Comprendre d'abord que c'est un objet complexe au sens plein et entier du terme. Qui ne peut être abordé que dans une logique d'échelles imbriquées, dans un aller-retour permanent partant des matériaux aux composants, équipements, jusqu'au système bâtiment, qui devient alors un élément « simple » dans un système bien plus complexe qu'est son environnement urbain.

Comprendre ensuite que sa robustesse, son pilotage, voire sa résilience à l'usage, méritent mieux qu'une seule implication lors des défauts de service, au demeurant peu nombreux...

Encore faut-il pour le profane que les sujets scientifiques, même brillamment exposés, s'incarnent dans une réalité tangible. Sécurité, risque, confort, énergie, numérique, usages peuvent tout autant s'appliquer à d'autres secteurs, en remplaçant « bâtiment » par « transport », par exemple, ces notions restant assez génériques, donc peu mobilisatrices.

Il faut changer, remettre en lumière le bâtiment et son environnement urbain !

Voilà pourquoi, afin de transformer cette perception, via la refondation de sa recherche pour l'horizon 2030, le CSTB a décidé d'innover par la structuration même de celle-ci, permettant de répondre à des questions simples que tout un chacun est à même de se poser : sur quels sujets travaille concrètement le CSTB ? Quels en sont les objectifs associés ? Suis-je concerné ?

Ainsi, la nouvelle organisation de la recherche, bien évidemment axée sur le bâtiment dans son environnement urbain, s'organise-t-elle autour de quatre domaines d'action stratégiques. Ceux-ci sont basés sur :

- **Une ambition** : « Bâtiments et quartiers pour bien vivre ensemble » ;
- **Un impératif** : « Bâtiments et villes face au changement climatique » ;
- **Des chantiers** : « Rénovation, fiabilisation de l'acte de construire, innovation » ;
- **Des moyens** : « Économie circulaire et ressources pour le bâtiment ».

Fondamentalement transversale et pluridisciplinaire, cette refondation nous engage, avec nos partenaires, à délivrer des solutions opérationnelles, qui accompagnent à plusieurs niveaux les différents acteurs. Elle s'appuie à la fois sur l'expérience et l'expertise du CSTB, de ses partenaires, et sur des visions prospectives nationales et internationales partagées.

Ce n'est pas une autre façon de raconter l'histoire, mais une autre façon de la construire. Dans notre monde où partenariats, communautés et intelligence collective sont au centre des réflexions, jusqu'à impacter la manière de réaliser la recherche, il est bon qu'en premier lieu on sache ce dont on parle et ce que l'on vise. Au moins pour chacun d'entre nous, dans son imaginaire, et que, collectivement, nous construisions les solutions opérationnelles pour répondre à ces problématiques.

C'est ce que ce document de référence vous propose de découvrir pour pouvoir, vous aussi, vous associer à cette formidable aventure.



Bâtiments
et quartiers
pour
bien vivre
ensemble



Bâtiments
et villes
face au
changement
climatique



Rénovation,
fiabilisation
de l'acte de
construire,
innovation



Économie
circulaire
et ressources
pour le
bâtiment

Qualité de vie	***	**	*	
Préservation du bâti existant	*	**	***	**
Préservation de l'environnement	**	***	**	***
Usages du numérique	**	**	**	**
Développement de services	**	*	*	*
Adaptabilité	**	***	*	***
Durabilité	*	*	***	***
Réduction des gaz à effet de serre		***	**	*
Frugalité	*	***	**	***
Résilience	*	***	***	
Modèles économiques	**		*	***
Progression du secteur de la construction	***	***	***	***
Accompagnement de l'innovation		*	***	**
Accompagnement au passage à l'acte	**	**	**	**
Amélioration des pratiques des usagers	***	*	*	**

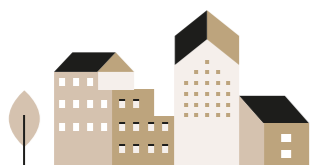
ARTICULATION DE NOS FEUILLES DE ROUTE

Les enjeux sociétaux auxquels il nous faut répondre sont multiples et liés aux politiques de préservation du bâti et de l'environnement.

Aborder ces sujets nécessite des regards croisés entre spécialités, une vision globale et transversale des problématiques, et la ferme volonté d'éclairer les champs scientifiques, en vue de réponses opérationnelles qui apporteront des progrès visibles et concrets dans la vie de chacun :

- solutions pour réduire notre impact environnemental ;
- réponses aux nouveaux modes de vie et aspirations des habitants (usages numériques, plus de services, etc.) ;
- outils et méthodes pour les acteurs de la construction ;
- accompagnement à l'innovation, etc.

Ce tableau est une présentation synthétique de la contribution de chacune de nos feuilles de route scientifiques et techniques à ces grands enjeux et la manière dont elles se complètent pour y répondre pleinement.



UNE AMBITION

BÂTIMENTS ET QUARTIERS POUR BIEN VIVRE ENSEMBLE

Bien vivre ensemble, c'est collectivement « reconnaître et respecter toutes les formes de diversité, lutter contre la discrimination et faciliter la cohabitation harmonieuse¹ ». Les bâtiments, qui nous abritent, qui permettent nos activités, et les quartiers, qui constituent notre cadre de vie et tissent les liens de nos sociétés, contribuent de manière essentielle à cette aspiration.



1. Commission permanente sur le vivre-ensemble de l'Association Internationale des Maires Francophones (2018)

NOS DÉFIS

Offrir un cadre de vie sain et durable en réponse aux attentes d'une société contrastée, en perpétuelle évolution et soumise à des contraintes environnementales majeures.

Assurer les besoins essentiels de chacun est le préalable au « vivre-ensemble ». La pyramide de Maslow propose une hiérarchisation des cinq besoins fondamentaux « universels ». Les lieux de vie sont étroitement associés à nombre de ces besoins : physiologiques (dormir, respirer, être en équilibre thermique, etc.), de sécurité (être à l'abri dans un environnement stable et contrôlé), d'appartenance, d'estime et d'accomplissement (s'approprier un lieu par l'expression personnelle, les relations sociales, etc.). Les lieux de travail et de loisirs ont bien sûr aussi un rôle à jouer dans la satisfaction de la plupart de ces besoins.

L'enjeu est donc de proposer une continuité du « bien vivre », depuis la sphère privée du logement jusqu'à l'espace public, en passant par les différents lieux de vie et en intégrant les modalités de déplacement.

L'un des défis prioritaires est de loger tout le monde et d'offrir à chacun, tout au long de sa vie, des espaces sûrs, sains et confortables. Cela suppose une offre large pour répondre à la grande diversité des aspirations et des moyens. Si certains fondamentaux doivent constituer le socle d'un logement décent et durable, il faut également tenir compte des nouvelles attentes et contraintes, en lien avec l'hyperconnexion ou avec un contexte de crise systémique, telle la pandémie que le monde vient de vivre. Les autres lieux de vie (éducation, travail, loisirs, santé...) ont des fonctions spécifiques qui induisent des niveaux de complexité et de services qui justifient une technicité et des exigences accrues.

Il faut également proposer des quartiers et des villes agréables et « apaisés », qui favorisent les activités socio-économiques soutenables, et bénéficient d'espaces publics propices au lien social et à l'épanouissement des individus. Ces critères – indissociables – contribuent à l'attractivité globale des lieux de vie, indispensable à la boucle vertueuse de la ville durable.

Replacer l'humain au centre de notre réflexion est la condition du « bien vivre ensemble ». Cela implique des regards croisés entre spécialités, une vision globale des problématiques et la volonté d'éclairer les champs scientifiques. Notre approche doit donc être multiscale, dynamique et systémique.

NOS ENGAGEMENTS

L'analyse de l'existant et des attentes futures nous conduit à anticiper ce que seront les bâtiments et les villes de demain, en réponse aux nouveaux modes de vie et aspirations des habitants, tout en maintenant l'attention sur les problèmes non résolus à ce jour.

Le CSTB poursuit ses études sur les questions sanitaires, de confort ou de sécurité dans leur dimension scientifique et les traduira également en connaissances pratiques et opérationnelles, en tenant compte du fait que l'on s'adresse à des personnes qui sont des « intégrateurs » de sensations et de perceptions. Bien vivre dans son logement ou son quartier s'apprécie en effet globalement et pas seulement au travers d'une juxtaposition d'indicateurs. Ainsi, ce parti pris modifie-t-il l'approche performancielle dont nous avons l'habitude.

Analysons le bâtiment comme un système dont il convient d'éviter les déséquilibres pour maintenir le confort et la sécurité de ses usagers. Pondérons les critères au regard de leur contribution à l'atteinte du bien-être. Observons les effets, définissons les causes et, si nécessaire, abordons les sujets sous un angle inédit. Plutôt que déplorer les chiffres du mal-logement, interrogeons-nous par exemple sur les coûts du mal-vivre et changeons ainsi de perspective. Questionnons les pratiques pour confirmer la pertinence de certains choix. Demandons-nous « à quoi ça sert ? » en même temps que « comment ça marche ? », sans laisser la seconde question occulter la première.

Regardons le quartier et la ville dans leurs dimensions physiques et socio-économiques, et identifions les facteurs clés de la qualité de vie. La construction perpétuelle de la ville sur la ville doit générer plus de bénéfices que de nuisances, et la question des chantiers, notamment, doit être considérée avec attention. La ville bas carbone à laquelle nous aspirons doit être « marchable » et amène. C'est une ville de proximité, de services, accessible à tous.



Proposer une continuité du « bien vivre », depuis la sphère privée du logement jusqu'à l'espace public

LES GRANDS AXES

Le domaine d'action stratégique « Bâtiments et quartiers pour bien vivre ensemble » est structuré autour de deux grands axes.

BIEN VIVRE DANS LES BÂTIMENTS

1

Le bâtiment décent

- Produire, rénover et maintenir des bâtiments pour un confort et une sécurité sanitaire allant au-delà du seuil de « décence » ;
- Faire en sorte de réduire la part des bâtiments indécents, avec un focus particulier sur les logements.

Les travaux du CSTB contribueront à actualiser les freins et les leviers pour une mise à niveau d'une part plus importante de bâtiments, et notamment de logements du parc privé.

Pour cela, la recherche du CSTB fournira aux acteurs socio-économiques la capacité d'apporter un éclairage sur les sujets suivants :

— quels standards, économiquement soutenables tout en étant socialement et politiquement acceptables, pour un bâtiment décent ?

— comment assurer une évolution de tous les bâtiments au-delà du seuil de « décence » (notamment les logements) ? Comment évaluer le coût du mal-vivre et/ou les bénéfices du mieux-vivre ? Quels en sont les leviers ?

2

Le bâtiment « à vivre »

- Concevoir et rénover les bâtiments de sorte qu'ils satisfassent les attentes en matière de confort, de bien-être et de santé, et qu'ils répondent aux aspirations sociales des occupants : fonctionnalités, usages, représentations...

Il s'agit d'offrir aux acteurs des méthodes et des outils (évaluation, diagnostic, modélisation, exploitation...) à toutes les étapes de leurs projets. Concrètement, ils permettront de répondre aux sujets suivants, dans une vision plurielle :

— le bâtiment pour bien vivre : quels besoins et attentes de la société ? Comment aller vers des bâtiments plus inclusifs, mieux adaptés à la vie privée comme au travail, adaptables au vieillissement et au handicap, intergénérationnels et évolutifs ? ;

— le confort global vers une qualité des environnements intérieurs ;

— le bâtiment sain ou la qualité sanitaire des espaces ;

— le bâtiment résilient face au changement climatique, aux crises économiques, sanitaires...

3

Le bâtiment « augmenté »

- Concevoir et adapter les bâtiments de sorte qu'ils apportent des services améliorés aux occupants et/ou aux exploitants ;
- Intégrer de l'intelligence et de la connectivité pour réduire les contraintes et accroître le niveau de bien-être.

Les travaux de recherche du CSTB éclaireront le sujet des capteurs et objets connectés, des attentes qu'ils suscitent dans la société et du réel niveau de service qu'ils apportent aux occupants et aux exploitants. Le rôle du CSTB sera notamment d'interroger leurs impacts sur les pratiques.

4

Le bâtiment pour bien vivre aujourd'hui et demain

- Concevoir et rénover des bâtiments « aptes à destination » et de qualité, à réception et tout au long de leur cycle de vie.

Au-delà de la prévision de performance attendue et de la vérification de celle-ci à la réception des ouvrages, l'enjeu est désormais de s'assurer de l'évolution de leur performance en service. L'objectif n'est pas tant de savoir si les bâtiments tiennent leurs promesses que de savoir si celles-ci seront toujours tenues dix ans ou vingt ans plus tard. Il s'agit d'assurer que les bâtiments livrés – neufs ou rénovés – répondent bien aux attentes des occupants et des exploitants, et que les services apportés perdureront dans le temps grâce à une maintenance adaptée.

LE QUARTIER POUR BIEN VIVRE ENSEMBLE

1

Le quartier confortable et « apaisé »

- Concevoir et aménager des quartiers à nuisances maîtrisées dans lesquels les habitants peuvent vivre au calme, à l'abri des pollutions, profiter d'espaces extérieurs agréables et confortables...

Il s'agit d'une approche globale – pluridisciplinaire et multiscalaire (bâtiment, quartier, ville) – pour diagnostiquer, analyser et maîtriser les nuisances inhérentes à la structure urbaine. En perpétuelle évolution, la ville génère en effet d'inévitables nuisances chroniques, mais aussi aiguës (chantiers), qu'il faut tenter d'atténuer. Ces gênes, d'origine climatique, technologique ou anthropique, peuvent être questionnées de différentes manières (de la source à l'effet) et en observant les comportements des citoyens.

2

Le quartier comme facteur clé du lien social

- Concevoir et aménager des quartiers dans lesquels les échanges entre les habitants sont facilités, où la mixité sociale est possible, les liens intergénérationnels favorisés et les initiatives citoyennes encouragées.

L'homme est un animal social et, plus encore, selon Aristote, il est un « animal politique ». Il ne peut donc être heureux qu'au sein de la cité où il échange avec ses pairs. La faillite de certaines formes urbaines est probablement liée à ce déficit de lien social, la fonctionnalité étant privilégiée, laissant place à l'individualisme. Ainsi, au-delà des problématiques matérielles, la question du « bien-vivre » recouvre des dimensions sociologiques majeures : être bien quelque part suppose notamment une adhésion à l'environnement, au « mode de faire local » et à l'entourage (habitants et acteurs économiques et sociaux).

On pourra étudier par exemple les sujets de la ville citoyenne, de l'attractivité des quartiers, aborder la question de la ville « marchable » et accessible, ou encore du périmètre de la ville de demain et sa relation au travail.

3

Le quartier et la ville durables

- Concevoir et aménager des quartiers frugaux, résilients face au changement climatique et aux crises sanitaires.

Le quartier et la ville durables doivent répondre à différentes exigences qui intègrent l'environnement, le social et l'économie. Le facteur économique, souvent opposé comme un frein, peut également devenir levier d'action en monétisant les intangibles comme le maintien de la santé et l'augmentation du bien-être.

4

La ville smart, la ville de services

- Concevoir et aménager des quartiers et des villes qui apportent du service basé sur la donnée et la connectivité.

L'enjeu consiste à exploiter les données disponibles pour les transformer en services à destination des habitants et des acteurs de la ville pour qu'elle soit optimisée, plus simple, plus lisible, plus aidante et plus inclusive.



La question du « bien-vivre » recouvre des dimensions sociologiques majeures

NOS PRIORITÉS

Elles consistent à organiser les connaissances issues des recherches disciplinaires menées lors des exercices précédents, au service de projets systémiques à retombées plus opérationnelles.

La qualité des environnements intérieurs (QEI)

Le but est de constituer un corpus agrégeant les connaissances en matière de qualité de l'air intérieur (QAI), de qualité des environnements intérieurs (QEI) et de physique des ambiances, pour structurer et enrichir des bases de données qui seront partagées avec la communauté scientifique et les acteurs économiques. Ces connaissances alimenteront les codes de calcul existants ou en développement. Le CSTB définira des indicateurs unifiés de QEI, des méthodes de diagnostic et d'aide à la décision, consolidera les modèles prédictifs et les rendra disponibles pour l'ingénierie. Enfin, il travaillera à la constitution d'un observatoire de la QEI.

Approches urbaines intégrées

Il s'agit de définir et de mettre en œuvre des stratégies urbaines grâce au développement de méthodes et outils de diagnostic multicritère et multiscalair, d'aide au choix de programmation pour les opérations d'aménagement, de comparaison de scénarios de conception d'espaces publics, et de reporting sur les performances atteintes. Ces méthodes et outils doivent permettre la priorisation des investissements et devenir un cadre d'évaluation des innovations urbaines.

La sécurité sanitaire dans les bâtiments

Il s'agit de poursuivre les travaux sur la sécurité sanitaire dans les espaces construits en les structurant autour de : la caractérisation (identification des polluants et des sources, développements métrologiques, influence des conditions environnementales) ; la prévention-remédiation (innovations technologiques et organisationnelles, développement de matériaux fonctionnalisés et accompagnement au déploiement des solutions) ; la surveillance (nouvelles méthodes de détection et outils de mesure, stratégie de gestion globale). Ainsi, dans le contexte de crise sanitaire, le CSTB oriente sa réflexion sur l'interaction entre des agents biologiques pathogènes et les espaces construits. Il développe une stratégie de recherche interdisciplinaire pour apporter des réponses, aux différentes échelles de temps, dans une logique de prévention, d'anticipation et de remédiation.

NOTRE AMBITION

Les thèmes abordés ici sont d'une grande variété et, par essence, pluridisciplinaires. Ils soulèvent des questions de recherche socio-éco-techniques aux différentes échelles. Pour y répondre, le défi à relever dans les prochaines années consistera à rassembler les connaissances déjà constituées et à en développer de nouvelles dans une approche résolument systémique et pragmatique. La maturité de certains sujets nous permet dès maintenant d'assister les acteurs de la construction dans leurs process de conception via des prestations d'expertise, et également de leur transférer des méthodes et des outils simplifiés pour améliorer leurs pratiques au quotidien. Il s'agit pour le CSTB de bousculer ses approches scientifique et technique en associant fortement les sciences dites « dures » et les sciences humaines et sociales, incluant l'économie. Des réponses réalistes aux questions concrètes que nous pose la société et, notamment, celles induites par une évolution de plus en plus rapide et des crises systémiques inédites, pourront ainsi être apportées. À nous d'élargir le regard.

BÂTIMENTS ET QUARTIERS POUR BIEN VIVRE ENSEMBLE

2024

Programmation à horizon 2030

Approche
urbaine
intégrée

Qualité des
environnements
intérieurs (QEI):
mesure et
modélisation

Qualité des
environnements
intérieurs (QEI):
data et indices

Sécurité
sanitaire dans
les bâtiments

Pandémie et
environnements
bâti

Développement d'un outil d'analyse urbaine intégrée

**Qualification des ambiances
urbaines** pour concevoir les villes
avec une approche systémique
centrée autour de l'humain
*Partenaire: CNRS - UMR
Ambiances, Architectures,
Urbanités*

Nature en ville:
comptabilité de la biodiversité
dans les projets d'aménagement-
objectif ZAN
*Partenaires: MNHN,
CEREMA, Soprema*

**Construction de modèles de
prévision** court/moyen terme
de QEI via des données
continues obtenues par
capteurs

Modèles prédictifs de la qualité
globale des environnements
intérieurs
*Partenaires: LOCIE, LASIE,
Artélia*

**Risques sanitaires
émergents et réémergents:**
caractérisation de l'exposition
aux micro et nano-plastiques,
aux particules ultrafines,
aux produits d'entretien...

Remédiation et prévention:
développement de biocides
et traitements éco-compatibles
pour l'air et l'eau

Développement d'indices
de contamination biologique
(punaises de lit, mэрule...)
pour la gestion sanitaire des bâtiments,
dont ceux à valeur patrimoniale
*Partenaires: IMT Nord Europe, IMT
Alès, CNRS LRGP, INERIS, INRAE, MNHN*

Consolidation de bases de données
existantes et production de
données continues par capteurs
sur la QAI et la QEI
Partenaires: ANSES, SPF, INERIS

Enrichissement
de données QEI

Élaboration d'indices QAI et QEI
selon des types de données,
d'environnements et d'utilisateurs
(CERTIVEA)

**Comportement
des agents pathogènes:**
étude de leur dynamique de
survie

*Partenaires: Institut Pasteur,
CERTES IUPEC, ansES, CNRS*

Réseau sentinelle
à l'échelle d'un quartier
par la surveillance via
les eaux usées

Étude des performances
des solutions de gestion
des bâtiments pour prévenir
leur propagation

**Bases de données de QAI
et de QEI enrichies** au regard
des caractéristiques
environnementales,
climatiques, des bâtiments/
quartiers/villes et des foyers
mises à disposition de la
communauté scientifique,
des acteurs de la construction,
des gestionnaires de bâtiments
et du grand public. Connexion
à la Base de Données Nationale
du Bâtiment (BDNB) du CSTB

**Plan National Santé
Environnement:**
cartographies de l'exposition
aux ondes électromagnétiques
à l'échelle du territoire français
Partenaire: ANFR

Nature en ville:
objectiver son impact physique
en quantifiant le rôle du végétal
en ville comme source de
rafraîchissement et comme
puits de particules

2027

**Développement d'outils
pratiques de diagnostic
multicritère** (physiques et
socio-économiques) et d'aide
de choix dans la conception
et l'exploitation des espaces
urbains pour les acteurs de
la ville
*Partenaires aménageurs: Paris
la Défense, Paris Saclay, Grand
Paris Aménagement, SNEF,
Euratlantique, Euroméditerranée,
Epamarne, INRIA, Ingérop*

Interopérabilité
des modèles autour d'une
plateforme commune, **MATHIS**

**Constitution d'une base
de données d'émissions**
(matériaux et combustion
pour le chauffage)

Étude de la compréhension
de certaines interactions entre
les polluants et les lieux/
modes de vie

Déploiement de solutions
techniques de remédiation

**Technologies innovantes
d'inactivation des
aéropathogènes** et mise
en place d'un dispositif d'appui
à l'aidant familial dans une
situation d'urgence sanitaire
*Partenaires: INRAE, ANSES,
industriels*

**Couplage de ces cartographies
avec la BDNB**

Disposer d'indices QEI qui
répondent aux différents
besoins des utilisateurs
en les synthétisant et en les
rendant facilement lisibles
selon le type d'environnement

Modèles de prévision court/
moyen terme de données QEI
à partir de données continues
récoltées à l'aide de capteurs
selon le type d'environnement

**Consolidation des modèles
prédictifs** en intégrant les
comportements des occupants

Les méthodes de diagnostic
sont opérationnelles
et partagées aux acteurs
de la construction

L'observatoire de la QEI est
constitué et dynamique

2030



UN IMPÉRATIF

BÂTIMENTS ET VILLES FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

/18/

Le changement climatique est une composante majeure de notre actualité et plus encore de notre avenir. Il impacte d'ores et déjà directement notre quotidien, que ce soit à l'échelle des territoires, de l'urbain comme celle du bâtiment. Agir en faveur de son atténuation est une obligation impérieuse. Celle-ci doit conduire le secteur de la construction et les différents acteurs à adapter leurs pratiques, leurs usages et plus globalement le parc bâti afin de respecter les engagements nationaux (- 37 % d'émissions des gaz à effet de serre - GES - pour la chaîne de valeur bâtiment entre 2019 et 2030) et internationaux (limitation du niveau de réchauffement planétaire à 1,5°C).



NOS DÉFIS

Les raisons et la vitesse d'installation du changement climatique en cours sont inédites. Les manifestations de ces changements interrogent d'ores et déjà nos capacités de résilience. La vulnérabilité des milieux et des populations sont très hétérogènes. Adapter les territoires, l'environnement urbain et le cadre bâti est nécessaire pour assurer la sécurité des personnes et des biens, la santé et la qualité de vie des générations actuelles et futures.

Atteindre la neutralité carbone pour la chaîne de valeur du bâtiment d'ici à 2050

La chaîne de valeur du bâtiment, qui intègre tout le cycle de vie du bâtiment et les acteurs qui y contribuent, concourt de manière conséquente au changement climatique, en étant responsable d'environ 25 % de l'empreinte carbone des Français, soit près de 153 MtCO₂ en 2019. Le secteur du bâtiment est donc un levier essentiel pour répondre à l'objectif d'atténuation qui vise à contenir l'augmentation moyenne de la température à la surface du globe entre + 1,5 et + 2 °C d'ici la fin du siècle, conformément à l'Accord de Paris. Il est ainsi l'un des secteurs prioritaires de la Stratégie Française Énergie Climat qui vise la neutralité carbone pour les émissions territoriales d'ici à 2050 et une empreinte carbone des Français limitée à 2 tonnes par personne. Il nous faut profondément réviser la manière d'habiter, de rénover et de construire pour atteindre ces objectifs.

S'adapter à une évolution rapide et importante du climat

Quels que soient nos efforts, du fait des émissions de gaz à effet de serre (GES) passées et futures, nous allons vers une augmentation de la fréquence et de l'intensité des phénomènes climatiques. Réduire nos émissions de GES est une condition indispensable, mais non suffisante, pour limiter ces phénomènes.

Le changement climatique étant une composante majeure de notre avenir, le rôle du CSTB est d'aider les différents acteurs à s'y préparer afin de permettre au cadre bâti de conserver son rôle d'abri pour les activités humaines et de préserver la santé et le lien social. Cette adaptation doit se faire tout en intensifiant la démarche d'atténuation du changement climatique et de ses effets.

La réhabilitation massive de notre patrimoine immobilier et la réalisation de bâtiments adaptés au climat de demain, aux usages et aux usagers, sont indispensables pour atteindre ce double objectif d'atténuation et d'adaptation. Dans un contexte d'urbanisation croissante, d'innovations et d'expérimentations soutenues ainsi que de généralisation de la numérisation, les bâtiments devront contribuer à assurer une qualité de vie, de sécurité et de confort à leurs usagers. Au-delà des bâtiments eux-mêmes, les quartiers, les villes et les territoires devront répondre aux mêmes exigences. Leur inscription dans la transition environnementale, aujourd'hui centrée sur l'énergie et le carbone, exigera de s'appuyer sur une conception réinventée.

Penser les impacts environnementaux dans leur globalité

Les démarches de conception et de réhabilitation ne doivent pas intégrer le carbone comme seule boussole : la prise en compte de la raréfaction des ressources, par la mise en œuvre de l'économie circulaire, l'optimisation de la qualité de la construction et des conditions de production, ainsi que la protection de la biodiversité, doivent également faire partie des « nouveaux » critères de décision.

NOS ENGAGEMENTS

Face au changement climatique, le domaine d'action stratégique est structuré autour de deux axes : l'atténuation et l'adaptation.

Les démarches d'atténuation dans le secteur du bâtiment visent à mettre en œuvre des solutions de réduction pérenne des sources d'émission de GES sur le périmètre de responsabilité des acteurs de sa chaîne de valeur, mais également à aider d'autres acteurs à réduire les émissions sur leur propre périmètre (par exemple pour la mobilité), ainsi qu'à protéger, multiplier et améliorer les puits de GES. L'adaptation, quant à elle, désigne l'ensemble des démarches d'ajustement au climat actuel ou attendu, ainsi qu'à ses conséquences, en atténuant les effets préjudiciables tout en exploitant les effets bénéfiques.

Ces deux axes mobilisent toutes les composantes scientifiques afférentes aux problématiques du bâtiment dans son intégration urbaine, au niveau socio-économique comme technique, et ce quels que soient les usages. Des résultats sont attendus, nécessairement visibles à court terme sur le bâtiment, la qualité de vie et le confort et, à long terme, sur le climat.

Ce domaine d'action stratégique s'intègre dans une démarche plus globale du CSTB pour agir en faveur de l'atténuation du changement climatique et de l'adaptation du secteur de la construction. Par son rôle de conseil auprès des acteurs publics et privés, d'évaluateur, de courroie de transmission de la connaissance et de référent, il dispose de différents leviers pour participer à cette transformation globale.

Contribuer à la déclinaison de la Stratégie Française Énergie Climat

Sur le volet atténuation, les résultats des travaux de recherche du CSTB doivent permettre aux acteurs d'identifier les gisements de réduction de GES, les efforts à réaliser sur chaque segment, les solutions pour réduire efficacement les émissions et la priorisation de leurs actions.

Sur le volet adaptation, compte tenu de la portée de cette thématique sur les plans national et international, le CSTB apportera et développera son expertise dans la caractérisation de la vulnérabilité du cadre bâti aux effets du changement climatique. Pour cela, il s'appuiera à la fois sur ses ressources propres et sur ses différents partenariats scientifiques et académiques. Il s'associera également avec des acteurs de la construction afin que les connaissances et les outils produits permettent un passage à l'acte. Les résultats et actifs de la R&D seront développés et mis à contribution.

Préparer le cadre bâti au changement climatique

Au travers de son domaine d'action stratégique « Rénovation, fiabilisation de l'acte de construire, innovation » et de celui-ci, le CSTB affiche sa priorité : permettre une réhabilitation massive du parc existant avec un double objectif, à savoir réduire les émissions de gaz à effet de serre et s'assurer que, dans un contexte de changement climatique, les bâtiments assurent sécurité, santé et confort de leurs usagers et occupants.

Centrer nos réflexions sur les acteurs de la construction et les usagers

Pas d'atténuation, pas d'adaptation au changement climatique sans une transformation profonde de nos pratiques, de nos cadres de conception et réhabilitation et de nos imaginaires. La lutte contre le changement climatique doit être un projet de société. L'habitant, l'utilisateur et les professionnels doivent être parties prenantes de leurs lieux de vie, de travail et impliqués dans les nouvelles manières de concevoir, de construire et de rénover, d'habiter. Il n'y aura pas d'atténuation ou d'adaptation sans leur concours. Il n'y aura pas de résultats si la malfaçon, les effets rebonds, les collectifs ne sont pas considérés.

LES GRANDS AXES

L'axe atténuation comprend deux composantes : l'évaluation carbone et énergie, et la stratégie carbone. L'axe adaptation recouvre trois champs indispensables : la caractérisation des aléas pour le bâtiment, ses usagers et son environnement ; l'évaluation de la vulnérabilité du cadre bâti et de son appropriation par les occupants ; et les solutions pour l'adaptation.



La lutte contre le changement climatique doit être un projet de société.

ATTÉNUATION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

1

Évaluation carbone et énergie

Le CSTB se fixe comme premier objectif que chaque acteur connaisse l'impact carbone de son activité et de ses décisions grâce à des outils permettant l'évaluation carbone (et énergie) standardisée du composant jusqu'au territoire.

La réduction de nos émissions de carbone passe par le développement d'une démarche de sobriété dans l'usage des ressources énergétiques et non énergétiques, et par la diminution de l'intensité carbone, énergie et matière des produits et ouvrages pour chaque usage rendu.

Le CSTB poursuivra ses travaux sur la mise à disposition d'outils d'évaluation de l'impact carbone des produits, ouvrages ou quartiers.

2

Stratégie carbone

Le CSTB se fixe comme second objectif que chaque acteur de la chaîne de valeur bâtiment puisse mesurer l'effort à réaliser à court, moyen et long terme pour atteindre la neutralité carbone au niveau national d'ici à 2050. Pour ce faire, il participera à la déclinaison de trajectoires carbone sur des segments du secteur de la construction et à des projets pour accompagner les acteurs de la construction dans l'identification de leurs propres objectifs et de leur stratégie carbone.

L'ambition du CSTB est également de contribuer à la construction d'un écosystème global qui favorise la prise de décision en faveur de l'atténuation du changement climatique et l'adaptation à celui-ci.

Si la boussole principale est aujourd'hui le carbone, l'analyse des autres composantes de la pression sur l'environnement (surconsommation des ressources, pollution, destruction de la biodiversité) reste indispensable.

ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Le champ d'action de l'adaptation couvre la prévention, la préparation aux événements extrêmes, la protection des personnes et des biens pendant les crises et l'anticipation du relèvement post-crise.

L'objectif est que chaque acteur ait connaissance de la vulnérabilité de son bien face aux futurs aléas climatiques et dispose des informations nécessaires pour concevoir, rénover et agir au quotidien dans un contexte de changement climatique.

1

Caractérisation des aléas pour le cadre bâti

Cet axe vise à identifier les scénarios et les nouvelles données sur lesquels doivent reposer la conception des futurs bâtiments, la rénovation de l'existant et, plus largement, l'aménagement et la rénovation urbaine. Il est également nécessaire de saisir les effets indirects du changement climatique qui vont affecter nos manières de vivre et de construire. Les futures conditions d'accès aux ressources énergétiques, à l'eau et à l'alimentation, ainsi que les modifications de la biodiversité doivent être connues plus précisément pour permettre aux acteurs de concevoir leurs ouvrages en prenant en compte ces nouvelles contraintes.

Trait d'union entre ceux qui analysent le climat et les concepteurs de bâtiments, le CSTB fournit aux acteurs les outils et méthodes permettant d'évaluer les conséquences du changement climatique sur les ouvrages en matière de sécurité, de durabilité et d'impact sur les ambiances intérieures.

2

Évaluation de la vulnérabilité à toutes les échelles et de son appropriation par les occupants

Dans un contexte de changement climatique, la construction au sens large va être particulièrement sollicitée pour réduire la vulnérabilité du cadre bâti existant. Les travaux menés doivent permettre de caractériser la réponse du cadre bâti et des usagers aux nouvelles contraintes climatiques, et de réaliser des analyses en vue de hiérarchiser les risques. Cette évaluation est essentielle pour savoir si les bâtiments pourront rester des refuges face à des dérèglements climatiques futurs et de quelle manière. Leur vulnérabilité est, pour partie, une conséquence directe des choix de conception et de réalisation, très fortement liée à la « résilience » de leurs usagers. Cet axe de recherche permettra d'appréhender la « réponse » de ces derniers aux évolutions des conditions climatiques et ouvrira la possibilité aux différents acteurs de réaliser les analyses de risques pour leurs activités, les bâtiments qu'ils conçoivent, entretiennent ou réhabilitent, ou pour les villes qu'ils aménagent. Les risques dont il est question ici sont ceux issus des modifications climatiques et ceux engendrés par les transitions découlant des démarches d'atténuation et d'adaptation.

3

Solutions pour l'adaptation au changement climatique

— Que signifiera demain la conception, la rénovation d'un bâtiment, l'aménagement ou la rénovation urbaine post-pétrole, dans un contexte de + 2 °C, sur fond d'événements climatiques plus fréquents et plus extrêmes ? Comment notre société va-t-elle ajuster son imaginaire, ses exigences et s'adapter ? Notamment, comment protégera-t-elle les usagers des bâtiments des canicules ou des inondations ? Comment gérer les compromis entre atténuation et adaptation ?

L'ambition est d'explorer les différents leviers de l'adaptation au changement climatique du cadre bâti, d'identifier les plus efficaces, de coconstruire avec les acteurs des solutions opérationnelles et de diffuser les connaissances acquises. Il s'agit d'identifier les priorités pour faire évoluer nos pratiques constructives et adopter des stratégies de réhabilitation et d'usage qui conduiront à protéger à la fois la population et les biens. Anticiper les coûts de la non-adaptation, de la mal-adaptation et de l'adaptation permettra aux acteurs de prendre des décisions éclairées.

NOS PRIORITÉS

Le CSTB entend donner un grand coup d'accélérateur technique et économique (calcul des coûts de l'adaptation et de la non-adaptation), en s'appuyant sur une approche basée sur les sciences humaines et sociales, sur le sujet de l'adaptation au changement climatique associant, notamment, une partie du sujet biodiversité.

Le CSTB maintiendra l'effort déjà engagé depuis des années sur le volet de l'atténuation du changement climatique, tout en réorientant les priorités. Il s'agit de renforcer la dimension stratégie carbone pour atteindre l'objectif de neutralité, notamment en accompagnant la réhabilitation du parc existant à travers le prisme du carbone, sans pour autant qu'il soit exclusif.

Les sujets prioritaires sont les suivants :

- Accompagner les acteurs afin qu'ils puissent s'inscrire dans une trajectoire de neutralité carbone à l'horizon 2050 ;
- Fournir aux acteurs des outils pour comprendre le phénomène des îlots de chaleur urbains (ICU) et leur impact sur le confort thermique d'été, et évaluer des solutions de remédiation de cet effet (qualification et accès aux données, modélisation des ICU et du microclimat urbain, maquette numérique, etc.) ;
- Achever la convergence des méthodes et outils pour disposer d'un seul modèle d'évaluation de la performance énergétique et carbone, valable pour les bâtiments neufs et existants.

L'anticipation des canicules est un sujet majeur

L'augmentation de leur intensité, de leur durée comme de leur fréquence au cours du siècle à venir aura des effets sur les personnes, comme l'a illustré la canicule d'août 2003 en Europe. Des voies d'adaptation sont à notre portée pour réaliser un cadre bâti adapté aux conditions actuelles. Mais un saut qualitatif et quantitatif est nécessaire pour construire et rénover des ouvrages offrant dans le temps des performances plus élevées que celles des bâtiments actuels.

NOTRE AMBITION

L'histoire de l'humanité a toujours été fortement liée à celle du climat. Les êtres humains ont perpétuellement dû mettre en œuvre des stratégies d'adaptation. Le climat a eu et continuera d'avoir des effets sur les systèmes économiques et politiques. Pour la première fois, l'homme n'est pas seulement tributaire du changement climatique, il en est aussi le principal instigateur. Cette prise de conscience collective implique d'agir pour modifier notre impact. Le secteur de la construction a une responsabilité à prendre dans le processus d'atténuation du changement climatique. C'est pourquoi le CSTB se veut facilitateur, fédérateur et accélérateur de cette transformation. Si l'atténuation du changement climatique constitue l'objectif majeur, l'adaptation à ce changement est tout autant primordiale. Au travers de cette thématique de recherche, qui intègre *in fine* toutes les transitions, le CSTB ambitionne de favoriser l'émergence et la propagation rapide de solutions socio-éco-techniques permettant aux professionnels de l'aménagement et de la construction, ainsi qu'aux citoyens, de se préparer au monde de demain.

BÂTIMENTS ET VILLES FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Programmation à horizon 2030

2024

Stratégie Carbone:

poursuite du développement d'un ensemble d'outils d'optimisation, d'exploration et de suivi des stratégies de décarbonation des différents acteurs de la chaîne de valeur bâtiment

2027

Création d'un observatoire national réalisant le suivi des émissions de GES à l'échelle de l'ensemble de la filière bâtiment (BDNB, Observatoire RE2020, DPE, Décret tertiaire...)

Colibri:

développement d'un outil de simulation de référence, disponible en open-source, pour évaluer les performances énergétiques et environnementales des bâtiments neufs et existants

PowerDIS:

optimisation du recours aux réseaux de chaleur dans les stratégies de décarbonation

UrbanPrint:

nouvelle version de l'outil et de sa version aménageur, intégrant une estimation du budget carbone disponible pour un projet d'aménagement

Développement de jeux de données climatiques homogènes pour permettre aux acteurs de préparer l'adaptation de leurs ouvrages sur des bases communes (cartes vents, etc.)

2030

Atténuation du changement climatique

Adaptation au changement climatique

Colibri (Code Libres pour des Bâtiments Résilients): définition d'un cahier des charges partagé avec les acteurs pour évaluer conjointement les performances énergétiques et environnementales des bâtiments neufs et existants pour le développement d'un outil de référence

Nouvelle version de Menfis: modèle technico-économique de prévision des investissements en rénovation énergétique et d'évaluation des impacts des politiques publiques

PowerDIS: Plateforme de simulation énergétique à l'échelle urbaine
Nouvelle version de l'outil intégrant le dimensionnement des réseaux de chaleur urbain et estimation de leur contribution à la décarbonation
Partenaire: Efficacity

Feuille de route Décarbonation du bâtiment: quantification des gisements de carbone, levier par levier

Stratégie Carbone: première chaîne d'outils pour définir et piloter une stratégie carbone à l'échelle d'un parc. S'appuie sur la BDNB

Zephyr: un modèle technico-économique d'optimisation des investissements en rénovation énergétique au sein du parc de bâtiments français (résidentiel et tertiaire)

Évaluation et diffusion de solutions bas carbone

Définition de premiers budgets carbone à l'échelle des bâtiments pour orienter les acteurs vers les objectifs de la SNBC

UrbanPrint: outil d'évaluation des performances environnementales des projets d'aménagement neufs ou en rénovation

Nouvelle version de l'outil intégrant tous les bâtiments tertiaires, les enjeux d'économie circulaire et de biodiversité, de coût global
Partenaires: Efficacity, BBKA

Adaptation aux fortes chaleurs et îlots de chaleur urbain: chaîne de modélisation et de visualisation du microclimat urbain pour mieux identifier et traiter les îlots de chaleur urbains

Jeu d'indicateurs et méthodologie pour évaluer la vulnérabilité des ouvrages au changement climatique

Jeu d'indicateurs pour mieux évaluer le confort et le risque sanitaire liés aux vagues de chaleur pour permettre une meilleure conception des ouvrages

Définition, création et diffusion de premiers fichiers météo permettant aux acteurs de concevoir pour les climats futurs

Vulnérabilité et solutions pour l'adaptation au changement climatique: état des lieux des règles de conception à faire évoluer pour permettre aux acteurs de la construction d'adapter le parc bâti neuf et existant au changement climatique

État des lieux des coûts d'adaptation à l'échelle du bâtiment

Ecoscale: un signe de qualité sur l'éco-conception des produits intégrant un classement environnemental portant sur les thématiques de l'économie circulaire et de la sobriété carbone permettant de positionner leur performance dans un bâtiment type



DES DÉFIS

RÉNOVATION, FIABILISATION DE L'ACTE DE CONSTRUIRE, INNOVATION

Fiabiliser l'acte de construire c'est, tout au long du cycle de vie, assurer la performance et l'adaptation du bâtiment aux différentes évolutions de son environnement au sens large, de ses usages et des attentes qui y sont associées. Si la construction neuve y répond potentiellement, la rénovation du parc - cœur du problème - doit se réinventer pour y parvenir, en mobilisant toutes les innovations possibles.

/28/



NOS DÉFIS

Adapter le bâtiment et son environnement urbain aux évolutions des usages et des attentes sociétales dans une temporalité maintenant contrainte par les réalités environnementales, sociales et politiques.

« Clos couvert ». Cette expression surannée, associée au bâtiment, renvoie aux risques naturels et accidentels qui peuvent nous atteindre, ainsi qu'à nos peurs ancestrales. Cela depuis la nuit des temps. C'est ce qui confère au bâtiment une certaine image de rusticité rassurante, renforcée par une [très] faible sinistralité, ou du moins perçue comme telle. L'aversion au risque, qui s'est fortement développée depuis le XXe siècle, amplifiée par une information multiforme quasi en temps réel, implique donc une adaptation plus rapide du bâtiment par rapport aux attentes toujours plus larges des citoyens et des usagers.

Du fait de la place qu'il occupe dans la vie de l'homme, le bâtiment est au cœur d'une complexité souvent invisible au quotidien, dépassant largement le sujet des risques. Seules les crises nous le révèlent, qu'elles soient climatiques, environnementales, énergétiques, démographiques, sanitaires, sociales, économiques ou simplement accidentelles. Répondre à chacune, non plus de manière individuelle mais systémique, dévoile les antagonismes et les contradictions dans les solutions proposées. Cette conjugaison des différentes réponses aux sujets sociétaux majeurs impose donc une hiérarchisation, voire une priorisation, adaptée.

Si les réglementations pour la construction neuve intègrent pour partie cette démarche, notamment par des innovations au demeurant nombreuses tant au niveau des matériaux, des produits, des solutions que des arbitrages issus de consultations des parties prenantes, ce n'est en revanche pas le cas pour le parc existant. Pour celui-ci, le problème reste entier du fait d'une production toujours inadaptée aux besoins.

Ce qui correspondait autrefois au niveau des exigences, pour ne pas dire des standards, ne répond plus aux besoins d'aujourd'hui. Et encore moins à ceux à venir, qui supposent la prise en compte d'évolutions à long terme recouvrant la vie du bâtiment, telles que le changement climatique et la raréfaction des ressources, y compris humaines, qui impactent la construction dans son ensemble.

Le bâtiment n'est pas une entité autonome. Il s'inscrit, « théoriquement », dans l'environnement urbain, dans une symbiose dispensatrice de services, nécessaires à la vie quotidienne et supports du « faire société ». Les technologies nouvelles, que ce soit le numérique et ses nombreux apports aux usagers, les nouveaux modes de consommation et de travail, la mobilité revisitée ou l'intégration de la nature en ville : tout concourt à réinterroger l'existant pour définir et optimiser sa contribution à la société de demain. Et ceci se prépare et se joue maintenant.

Ainsi, au-delà du fait qu'il concerne la quasi-totalité du parc, le sujet de la rénovation est le défi du XXIe siècle. Face aux nombreuses urgences sociétales, aux obligations et espoirs qui y sont associés, le processus actuel de la construction-rénovation n'est, du fait même de son temps caractéristique, tout simplement pas compatible avec les objectifs et les engagements pris, à l'instar des moyens financiers jusqu'ici consacrés à la rénovation, surtout quand on y intègre la notion d'aménagement urbain.

Comme rappelé en introduction, un des principaux défis du secteur est de pouvoir loger tout le monde, dans des espaces appropriés aux différentes activités, épanouissants, respectueux de la santé, abordables et favorisant la mixité sociale, et ce tout au long de la vie. Il convient donc que l'évolution de l'existant accompagne cette ambition par une rénovation adaptée. L'histoire cependant nous renvoie à la simple réalité passée et actuelle, dans un miroir sans concession, quant à notre capacité à faire évoluer aujourd'hui le bâtiment ancien, sous contraintes socio-technico-économiques et politiques sans commune mesure avec celles des Trente Glorieuses. Les mêmes causes produisant les mêmes effets, il est nécessaire d'aborder la rénovation du parc autrement pour engager une transition de rupture qui sera longue, mais forcément collective.

NOS ENGAGEMENTS

Devant la difficulté structurelle à remplir les objectifs de rénovation, tant en volume qu'en termes de qualité technique et économique, il convient d'en comprendre et d'en préciser le processus. Ainsi, en identifier les différentes composantes, leurs interactions et les freins existants ou possibles est essentiel, afin de proposer des solutions opérationnelles permettant de l'optimiser et de le fiabiliser significativement. Cela demande la mobilisation des acteurs dans une démarche intégrant les innovations techniques, productives, économiques, organisationnelles et juridiques, à mettre en synergie avec les solutions issues de l'expérience qui constituent la robustesse du bâtiment.

Face aux sollicitations et expositions multiples auxquelles le bâtiment est confronté, le CSTB, avec ses partenaires, a développé les connaissances dans différents champs scientifiques et techniques permettant une approche interdisciplinaire qui vise une réponse adaptée aux problématiques rencontrées. Elle résulte d'une optimisation des solutions en fonction des leviers disponibles selon les acteurs, et surtout les décideurs, concernés, en tenant compte des contraintes globales issues des acquis de l'expérience, mais plus encore des orientations et des choix politiques.



Le bâtiment est au cœur d'une complexité souvent invisible au quotidien

Dans ce contexte, il convient de :

- définir le processus le plus pertinent permettant de remplir les objectifs visés pour la rénovation des bâtiments (quantité annuelle intégrant performance énergétique, environnementale, sécurité, confort, bien-être, frugalité des ressources, recyclabilité...), le tout dans une équation économique et temporelle contrainte. Identifier les freins actuels ;
- préciser les pistes et outils associés sur la base d'une connaissance plus précise du parc existant, notamment pour permettre les modélisations multiphysiques et socio-économiques, et donner aux différents acteurs la capacité d'appréhender à la fois l'impérieuse nécessité de changement, mais surtout les moyens d'y parvenir. Ceci doit se faire en intégrant les leviers que permet l'innovation au sens large, qu'elle touche les matériaux, produits, équipements, mais aussi les organisations, les processus de production et de financement, à travers le prisme des échelles du bâtiment et de son environnement urbain ;
- sortir de la querelle historique et culturelle qui oppose usine et chantier, notamment autour des causes des non-qualités des réalisations et de la capacité du secteur en termes de production. La massification, souvent comprise comme industrialisation, se réfère au volume des réalisations et non à une uniformisation fortement décriée par les architectes et la maîtrise d'œuvre, et accessoirement par les usagers. Elle suppose, davantage pour la rénovation que la construction neuve, des solutions d'ordonnement éprouvées, puisqu'elle s'effectue généralement en site occupé, et se trouve donc souvent phasée. Elle doit s'appuyer sur des opérateurs formés, conscients des impacts de leurs réalisations sur la performance globale et la fiabilité de la construction ;

- développer les éléments supports à ces formations pratiques, au niveau de la conception, de la réalisation à l'échelle du chantier, comme de la gestion-maintenance, sous l'angle systémique et non plus exclusivement produit ;
- accompagner les industriels dans une approche multicritère assurant aux différents produits et solutions, une mise en œuvre robuste en matière de performances, conforme au niveau de leurs spécifications, voire de leur certification, notamment par une révision étendue de leur intégrabilité et de leur interfaçage au sein du bâtiment ;
- repositionner le CSTB comme promoteur et support de l'innovation, sur la base des compétences scientifiques et techniques qu'il a acquises et qu'il continue de développer avec ses partenaires. L'obligation de décarbonation du secteur de la construction implique en effet une innovation sans précédent au niveau des produits et des matières premières, qu'elles soient recyclées, issues de la biomasse, de nouveaux procédés ou de procédés réinventés ;
- déployer, dans un souci pédagogique, les moyens et outils permettant aux usagers du bâtiment une occupation optimisée, en fonction des contraintes qui s'y appliquent, en s'appuyant sur leur information et les innovations, notamment numériques (mesures, pilotage, communication, interface utilisateur, etc.). En effet, la Covid-19 a souligné, à juste titre, le dilemme entre sécurité sanitaire et efficacité énergétique pour les gestionnaires de parc par exemple, mais aussi pour les usagers. Idem pour les vagues de chaleur, la qualité de l'air intérieur ou encore la sobriété quand on les associe au confort, à la sécurité et aux équations économiques, sans parler du carbone ;
- revisiter enfin l'approche économique nécessaire à une massification plus rapide, compatible avec les politiques nationales et internationales, tant au niveau des capacités de production, des solutions techniques et organisationnelles, que des systèmes financiers et de la répartition de la valeur ajoutée, sous contrainte des coûts de construction. N'oublions pas que le secteur du bâtiment, et particulièrement la rénovation, est un domaine d'activité majeur, source d'emplois qualifiés non délocalisables et d'un potentiel de nouveau industriel à l'échelle européenne.

La robustesse historique du bâtiment est trop souvent synonyme d'absence de vision des actions nécessaires pour son utilisation optimale, hormis, comme rappelé précédemment, lors d'une crise ou de la défaillance d'un composant. Cependant, la multiplicité des attentes et des contraintes associées au bâtiment en fait aujourd'hui un objet plus complexe, loin de la perception commune issue de l'expérience tant individuelle que collective. Si les solutions techniques intègrent ceci, quoiqu'en partie seulement, le CSTB doit préciser et disséminer les conditions de bon usage, et les types d'interventions nécessaires face aux problèmes rencontrés, comme il doit le faire avec les acteurs du secteur pour une mise en œuvre de qualité.

Ces engagements du CSTB, de ses partenaires scientifiques, techniques, économiques, et plus largement des politiques, sont les conditions nécessaires si nous voulons relever collectivement les défis résultant de cet enjeu de société qu'est le changement climatique, et dont le bâtiment, s'il n'est pas la seule clé, en est l'une des principales. On connaît à la fois sa « force » inhérente à son niveau de performance actuelle, qui suppose une évolution drastique quant au volume des rénovations pour l'adaptation au changement climatique. Mais on sait aussi sa faiblesse : l'inertie.

LES GRANDS AXES

Le domaine d'action stratégique « Rénovation, fiabilisation de l'acte de construire, innovation » s'articule autour d'axes cohérents et imbriqués qui structurent le processus de rénovation avec ses spécificités, notamment pour la fiabilisation des innovations et de nouveaux modes constructifs, également applicable à la construction neuve.

1

CONNAÎTRE LE PARC

→ **Base de Données Nationale des Bâtiments (BDNB)**
Préalable à toute rénovation, l'état des lieux permet de définir le point de départ du projet. Ce terme que chacun d'entre nous associe au logement, au moins pour son niveau de détails souvent extrême, n'est cependant pas applicable au parc de bâtiments quelle que soit son échelle. Bien au contraire.

La connaissance des bâtiments n'était, jusqu'à présent, que statistique, peu détaillée, excepté dans une certaine mesure pour le tertiaire et les réalisations récentes. Si cela était suffisant au niveau d'analyses ou de suivis globaux, ceci ne l'est plus au vu des attentes placées dans chaque projet – qu'il soit de rénovation ou de construction neuve – en termes de performances, quelles qu'elles soient. Cette méconnaissance est potentiellement la principale raison de l'état actuel du parc et de son incapacité à accompagner les mutations nécessaires à une adaptation dynamique, répondant aux principaux enjeux sociétaux.

Le développement récent, dans le cadre du programme PROFEEL, de la Base de Données Nationale des Bâtiments (BDNB) permet, par croisement d'un nombre croissant de bases de données publiques et potentiellement privées, une cartographie géolocalisée de chaque bâtiment et de son environnement urbain, avec un niveau d'informations sans précédent, relatives aux modes constructifs, aux matériaux et solutions mis en œuvre, aux consommations diverses, aux modes d'occupation des lieux, etc.

Ceci ouvre des perspectives que l'on ne pouvait pas imaginer pour ce secteur. En comparaison, celui de l'automobile, dont la similitude avec le logement ne s'arrête pas qu'aux chiffres globaux - 36 millions de véhicules particuliers, 26 millions de logements – a de longue date, par un suivi réglementé des véhicules, amélioré drastiquement sa fiabilité et sa qualité pour le parc existant, mais aussi pour la production neuve, par intégration des retours d'expérience (REX) issus des contrôles techniques.

Le CSTB, à l'origine de cette innovation majeure qu'est la BDNB, ambitionne avec ses partenaires de la développer dans une logique de métabase de données de référence pour les acteurs de la construction, se rapportant au « commun d'utilité publique », permettant d'intégrer les approches multiphysiques, comportementales ou économiques, sans pour autant s'interdire le champ concurrentiel, dans le respect de la création et de l'innovation. Ce qui, de manière plus imagée et pertinente pour la construction, renvoie la BDNB à une Babel réinventée.

La recherche suppose, au-delà des enjeux techniques, notamment liés aux données, à leur qualification et à leur interopérabilité dans les outils de simulation et d'optimisation, de structurer à la fois les bases, mais aussi les chaînes d'acteurs via la mise en place de référentiels (qualification, protocoles de mise à jour, extrapolation des données, en s'appuyant sur l'intelligence artificielle), dans des cadres compatibles avec les approches juridico-économiques. Elle est donc, aussi, un sujet de sciences sociales.

2

SOLUTIONS RÉNOVATION-CONSTRUCTION

→ **Évaluation multicritère des produits et des procédés de construction**

Les travaux de recherche ambitionnent de fournir le socle de connaissances et de méthodes nécessaires pour qualifier l'ensemble des performances des systèmes constructifs, sur la base d'analyses et d'évaluations multicritères des produits et technologies existantes, ainsi que des innovations actuelles et à venir.

Ceci suppose d'évaluer les produits avec une approche pluridisciplinaire au regard des différentes exigences principales (structure, thermique, acoustique, incendie, durabilité, mise en œuvre, environnemental, sanitaire, sécurité...), en particulier au niveau de leur interfaçage avec les autres composants pour leur intégration dans le système bâtiment, et d'avoir la capacité de qualifier et quantifier leur contribution à la performance globale à partir de celles, intrinsèques, relatives à des exigences spécifiques.

Cela conduit aussi à renforcer les méthodes de caractérisation, qu'elles soient expérimentales, numériques ou hybrides, y compris in situ, ainsi que les moyens d'analyse associés en contribuant au développement des compétences des acteurs industriels, des entreprises et des professionnels en lien avec les nouveaux enjeux de la construction. En parallèle, ceci devrait favoriser l'émergence de plateformes d'essais de pointe pour la caractérisation multicritère des produits et solutions, sous contraintes multiples induites par leur intégration dans le bâtiment.

En s'appuyant sur les retours d'expérience relatifs aux produits et solutions, qu'ils relèvent de la facilité (ou technicité) et robustesse de la pose, de la performance en service, de la maintenabilité et, bientôt, de la démontabilité pour le recyclage ou le réemploi, ces approches hybrides constitueront une formidable base de connaissances au service des innovations et de leur fiabilisation, en se basant principalement sur le *reverse engineering*.

3

PRODUCTION & RÉALISATION

→ Réhabilitations multicritères

L'objectif est de développer un environnement permettant d'accompagner les maîtrises d'ouvrage et les maîtrises d'œuvre ainsi que les industriels et acteurs connexes dans les priorisations indispensables à l'optimisation des stratégies et scénarios de réhabilitation.

Cette démarche d'accompagnement s'appuie sur une approche globale, basée sur une évaluation multicritère nécessaire à la prise en compte éclairée de contraintes qui s'appliquent au projet, qu'elles résultent du projet lui-même, de contingences réglementaires, d'intérêts spécifiques ou d'enjeux économiques, et ce à l'échelle du bâtiment concerné, ou celle, plus large, de son environnement urbain.

Pour cela, le CSTB et les acteurs doivent mettre en commun, via la création de bases de connaissances digitalisées, l'ensemble des données associées au projet de rénovation, portant sur les caractéristiques techniques du bâtiment, ses usages, son environnement, ainsi que sur les solutions de rénovation et leur description multiscalaire. Cela permettra, via des protocoles adaptés mobilisant des données qualifiées et partagées, ainsi que des descripteurs et outils de modélisation-simulation communs, de faire converger les approches multicritères, celle associée aux produits, optimisant leur intégration et leur performance, avec celles relatives au bâtiment intégré dans son environnement urbain.

Cet ensemble s'appuie sur la capitalisation de connaissances expertes et transverses du parc existant, aujourd'hui « dévoilées » et plus accessibles par la BDNB. Il se base également sur des informations issues de démonstrateurs, intégrant les retours d'expérience et données techniques, économiques et sociologiques, ce dernier champ étant compris dans un sens très large, allant des organisations de chaînes d'acteurs aux usages et perceptions associées aux réalisations (bien-être, confort, expérience utilisateur, fiabilité...), en passant par l'ergonomie et la robustesse de la mise en œuvre pour et par les professionnels.

4

QUALIFIER LA PERFORMANCE

→ Fiabilisation et garantie des performances des réalisations

À la fois étape finale du cycle de rénovation, et base pour l'amélioration globale des réalisations, via les REX notamment, la mesure de la performance effective d'un bâtiment neuf ou réhabilité est l'indicateur « ultime » qui renvoie aux objectifs initiaux du projet. Ceux-ci sont le résultat d'une ingénierie plus ou moins complexe intégrant les différents savoir-faire, modèles, simulations, expérimentations et innovations.

Cependant, la réalité du terrain se traduit trop souvent par une absence de contrôle de la performance, excepté pour certaines obligations réglementaires qui n'investiguent toutefois que des points spécifiques. Les écarts constatés de manière récurrente sur certains points sont à la fois le reflet de l'adéquation relative des modèles théoriques et des solutions techniques mobilisées, de leur mise en œuvre, sans parler de leur usage quand il s'agit de performance en service.

Le plus souvent, la mesure de la performance éclaire un indicateur particulier comme la consommation énergétique, le taux de renouvellement d'air, d'affaiblissement acoustique, l'étanchéité à l'air... Cela n'apporte pas d'indication quant à la performance globale du bâtiment, qu'il soit neuf ou rénové, pour lequel une réponse systémique est attendue pour atteindre, par exemple, les objectifs « Bâtiments et quartiers pour bien vivre ensemble, dans le cadre du changement climatique ».

Le CSTB ambitionne donc d'avoir la capacité d'évaluer la performance globale réelle des bâtiments pour mieux en comprendre les déterminants, les améliorer, les fiabiliser et les garantir. En lien avec les autres domaines d'action stratégiques, il contribuera, avec la communauté scientifique et les acteurs du secteur de la construction, à la définition d'indicateurs de performance globaux conjuguant et pondérant la contribution d'indicateurs particuliers.

Il s'agit, d'une part, de développer des méthodes et outils d'évaluation, notamment par la mesure des performances réelles. Et, d'autre part, de les éprouver sur le terrain et d'en faciliter le déploiement opérationnel. Cela passe par une approche pluridisciplinaire fondée sur les aspects techniques, mais également organisationnels, de gouvernance, juridiques, économiques, assurantiels et d'accompagnement au changement.

En parallèle, il est nécessaire d'organiser la mise en œuvre et la capitalisation de retours d'expérience afin de mettre en lumière les réalisations performantes et les erreurs à éviter, et ainsi définir les bonnes pratiques. L'ensemble, après concertation, sera mis à la disposition des acteurs par une diffusion large. Cela permettra ainsi d'enrichir la connaissance du parc, de nourrir les échanges entre acteurs et de faciliter l'émergence d'innovations en matière de solutions collectives et systémiques.

Enfin, la performance du bâtiment au sens global est directement assujettie aux différents types et conditions d'occupation. Les usagers sont souvent très peu informés et impliqués sur les fondamentaux de son fonctionnement, et encore moins sur ses spécificités en conditions particulières. Sur la base d'approches affiliées aux sciences humaines et sociales élargies aux usages du bâtiment et usages connexes (mobilité, travail, loisirs, consommation...) mobilisant la communauté scientifique, le CSTB organisera une communication adaptée à la sensibilisation et la diffusion de ces connaissances auprès des usagers. Il s'agit d'un élément indispensable pour qu'ils deviennent acteurs de la performance de leur habitat.

5

ÉCONOMIE & FILIÈRE

→ Connaissances et évolutions de la filière

L'ensemble des éléments cités précédemment, allant de la connaissance du parc à la performance des réalisations, permet d'appréhender les points critiques quant à la capacité du bâtiment, tant individuellement que globalement, à contribuer aux défis sociétaux identifiés tout en répondant aux objectifs fixés.

Les facteurs clés de réussite ainsi définis, objets des recherches menées par le CSTB et ses partenaires, supposent deux prérequis pour une mise en œuvre conforme aux calendriers et aux divers engagements politiques nationaux et internationaux : le financement et la capacité à répondre de la filière construction.

En effet, à quoi cela sert-il de disposer des produits et des solutions résultant de leur optimisation par rapport au projet de réhabilitation, si celui-ci ne trouve pas son équation économique ? De même, quand l'investissement est acté, qu'en est-il de sa faisabilité ? Car le niveau contractuel de performance économique et technique, et donc de qualité attendue, suppose une certaine capacité de production, de technicité et de formation des acteurs...

Autant d'interrogations auxquelles le CSTB devra répondre en consolidant tout un ensemble de données établies à partir de leur valeur actuelle. Celle-ci reflète et intègre tout autant les [non]réponses aux questions posées, qu'elles concernent les données économiques aux échelles macro (statistiques, tendances nationales) et micro (échelle projets), qu'elles soient liées aux réalisations (volumétrie, coûts...), aux types de financement et mesures d'accompagnement, au secteur (spécificité des acteurs, y compris nouvelles filières, chaîne de valeur ajoutée, productivité, innovations...) ou inhérentes à la capacité de production (volume RH, formations, qualifications).

À partir des résultats des différents domaines d'action stratégiques, qui prennent aussi bien en compte les objectifs politiques que les spécificités des projets, le CSTB devra être en mesure d'investiguer les modèles alternatifs que la filière devra mettre en œuvre pour pouvoir jouer son rôle dans l'élaboration de la réponse à apporter aux grands enjeux sociétaux, au moins significativement pour 2050.

Cela passera par l'étude de la synergie entre industrialisation du process, coproduction des acteurs (indispensable pour satisfaire aux objectifs, afin d'assurer, en particulier, les volumes et qualité nécessaires, dans des coûts maîtrisés) et moyens de financement adaptés, notamment par le biais de l'analyse de la chaîne de la valeur ajoutée et de sa répartition.

Cette base de connaissances aura pour but d'éclairer la capacité de la filière à intégrer les solutions de transition développées au sein des autres domaines d'action stratégiques.

NOS PRIORITÉS

Ciblant le sujet de la rénovation, mais transposables à la construction neuve, nos priorités reposent sur la nécessaire mobilisation des acteurs de la recherche, plus particulièrement issus des secteurs économiques. Cela afin d'identifier les causes qui ont conduit aux déficits chroniques attachés à la rénovation, d'y apporter des réponses intégrant, grâce à l'innovation au sens large, des approches multicritères, et ainsi d'aborder le processus de construction-rénovation autrement.

Les données et la connaissance du parc

La fondation même de la rénovation passe par une connaissance « nécessaire ET suffisante » de chaque bâtiment afin, à partir de son état initial, d'optimiser les solutions devant être mises en œuvre, sous contraintes techniques, économiques et sociologiques.

Jusqu'à présent statistique et désincarnée, cette connaissance du bâtiment – jusqu'à ses composants – doit maintenant faire face à plusieurs menaces dues à son développement numérique très rapide et prometteur. Entre infobésité et illusion du détail, il incombe au CSTB et à ses partenaires de définir un *modus operandi* qui optimise ces informations (description, périmètre de validité, volume, incertitudes de qualification, versionnage...).

Gardons-nous d'une description tellement détaillée qu'elle rendrait chaque bâtiment « unique », appelant une solution spécifique pour chacun, allant ainsi à l'encontre des besoins impérieux de massification de la rénovation, alliant qualité et performances, dans un modèle économique soutenable. Ceci passe par la définition des indicateurs clés, qui seront le dénominateur commun des acteurs d'une construction durable tout au long de son cycle de vie.

La robustesse des solutions

Si la mobilisation des produits existants et des innovations permettra, via les outils de modélisation-simulation-expérimentation, de répondre au mieux aux exigences multicritères techniques, sociologiques et économiques, elle suppose également que cela soit dans une assurance de robustesse et de durabilité [au sens premier] face aux différents aléas (intégrabilité, sensibilité à la mise en œuvre, performance en conditions réelles, flexibilité aux usages...).

La diminution drastique de la non-performance des réalisations, spécifique au secteur, est un levier de croissance sans précédent, relevant d'une conception intégrant des exigences de simplicité de mise en œuvre permettant d'assurer une performance minimale des produits et solutions en œuvre. Face à une technicité croissante, doublée d'une baisse d'attractivité du secteur où la formation des acteurs est inégale, la caractérisation des solutions par des approches hybrides, incluant les données expérimentales et la simulation des systèmes, doit permettre d'accompagner et transformer l'innovation.

Que ce soit dans une logique de *reverse engineering*, et tout autant de *design thinking*, cette démarche doit être un point fort du CSTB qui assure la continuité de la recherche vers les solutions opérationnelles éprouvées. Par ses activités technologiques et ses moyens d'essai, il est au cœur de l'évaluation des composants innovants et de la définition de leurs conditions d'intégration optimales.

L'intelligence artificielle, basée sur sa connaissance des composants du bâtiment, des réglementations, des règles de l'art et des normes, doit permettre au CSTB d'accompagner la chaîne d'acteurs de la conception à la pose et à la maintenance, en revisitant la conception des produits et systèmes et en les optimisant suivant les différents critères qualité-coût-performance.

Acteurs et filières

Alors que les ambitions placées dans le secteur de la construction n'ont jamais été aussi élevées, augmentées par la réalité du changement climatique et la nécessaire réduction de ses multiples impacts fondamentalement sociétaux, le constat est sans appel : la France ne produit pas les volumes de rénovations et de constructions neuves suffisants pour atteindre les objectifs fixés.

Les causes sont multiples : déficit de capacité de production, de main-d'œuvre formée, d'industrialisation aboutie des produits (c'est-à-dire assurant la même performance minimale, cependant élevée, quel que soit le metteur en œuvre), process de réalisation multi-acteurs non intégré, mais très dépendant de chacun quant à la performance globale de la réalisation, sans parler de l'intégration d'innovations, somme toute nombreuses, mais trouvant difficilement leur marché.

Il en est de même pour l'organisation du processus constructif, que ce soit celui de la construction neuve et plus encore de la rénovation, et ceci tout au long de son triptyque conception-réalisation-gestion, où le partage de l'information est une clé majeure pour la qualité globale des réalisations.

Les non-qualités historiques – pour ne pas dire caractéristiques – ou structurelles du secteur de la construction, souvent brocardé pour sa démarche approximative dans les réalisations, et ce aux différentes phases de la construction, sont un frein qu'il faut absolument lever.

Il est donc urgent de (ré)concilier les différents acteurs autour des ambitions fixées en s'appuyant sur les compétences éprouvées de chacun, mais en travaillant plus particulièrement leur interopérabilité à travers le prisme de l'optimisation. Ceci avec le risque d'en rester aux intentions.

C'est en développant et optimisant les synergies entre acteurs que ceci sera possible pour autant que le sujet de la construction soit envisagé et traité autrement. L'industrialisation, qu'elle soit de production ou de filière, si elle est exemplaire sur la constance de qualité-performance et la diminution des coûts, ne doit cependant pas laisser à penser qu'elle est la solution unique. Bien au contraire. Il n'y aura tout simplement pas de rupture ni de substitution de grands pans d'activité à son profit. Il y a une nécessité de collaboration et d'optimisation à tous les stades de coconception, de coréalisation et de coresponsabilité, en respectant le triptyque qualité-coût-délai, à partir de solutions elles aussi optimales mixant différents matériaux, qu'ils soient neufs, recyclés ou issus des différentes filières générales, locales ou alternatives.

Cette approche est donc un objet de recherche majeure. Une recherche appliquée qui doit avoir une obligation pratique : celle d'aboutir à des solutions opérationnelles robustes, mises en œuvre dans des délais rapides au vu des urgences. Cela supposera une montée en compétence sur des composantes non intégrées aujourd'hui par chacun des acteurs de la chaîne, qui permettra d'éclairer les arbitrages des décideurs économiques et politiques et de trouver de nouvelles voies pour redynamiser le secteur en le faisant rentrer dans le XXI^e siècle.

L'équation économique

En amont de la réponse technique et organisationnelle, le facteur économique est une composante essentielle de la rénovation, au sens large. La meilleure connaissance du parc démontre que plus de 5 millions de logements devraient être rénovés, en priorité sur le plan énergétique, pour avoir un impact certain sur les objectifs 2050, sans mettre de côté une remise à niveau de la sécurité, du confort et de la diminution de l'exposition aux risques (climatiques, sanitaires, mal-logement, etc.). Elle éclaire aussi sur les données socio-économiques, quant aux capacités d'endettement, à la priorisation des choix de vie et la conscience de la globalité des enjeux rattachés au bâtiment et aux impacts qu'ils ont sur le quotidien.

La répercussion sur les dépenses publiques différées, que ce soit en matière sociale et sanitaire, particulièrement sur une population [vieillissante], est majeure et doit être rapportée au niveau d'investissement nécessaire pour ces rénovations, dans une logique coût-bénéfice, sur des échelles d'intégration plus longues.

C'est donc au-delà des modèles et des simulations associées qui sont actuellement mises en œuvre, notamment par les politiques publiques, réglementations et aides diverses, que le CSTB devra, avec ses partenaires, étudier les opportunités que peuvent recouvrir les différents types d'investissements, de politiques d'accompagnement et de fiscalité. Il devra aussi réaliser cet exercice à l'échelle de l'Europe, où l'ensemble des pays fait face aux mêmes problématiques que sont le changement climatique, le vieillissement de la population, la dépendance internationale vis-à-vis des ressources énergétiques, des matières premières et des produits, et la capacité de production insuffisante dans les activités non délocalisables qui sont associées à l'acte de construire.

Le deuxième sujet plus « microéconomique », pour lequel le CSTB et tous les acteurs académiques et opérationnels sont tenus d'apporter des solutions innovantes, est celui des « coûts de la construction ». Dans un contexte économique contraint, potentiellement inflationniste, en corollaire des obligations nationales et internationales sur les grands sujets de société, ces coûts devraient – pour ne pas dire doivent – cependant raisonnablement baisser, tout en améliorant la performance globale des réalisations. Cela passe par une conjugaison des savoir-faire et points forts des différents acteurs tout au long de la démarche de conception-réalisation-maintenance, amenant [assurément] à revisiter l'ensemble des modes de production et de faire.

Il serait par exemple pertinent de s'appuyer sur une structuration des opérations de rénovation ou de construction neuve inspirée de la production industrielle, pour laquelle l'ordonnement ainsi que la logistique sont, au même titre que le procédé et la qualification des intervenants, une clé incontournable de l'efficacité et de la qualité des réalisations. Le secteur automobile y est parvenu, en revisitant chacune des composantes du process, y compris le contrôle du parc, à l'instar du secteur du bâtiment qui a, lui aussi en son temps, bouleversé en partie la réalisation du second œuvre par une innovation majeure : la plaque de plâtre.

Les approches combinées de ces deux composantes économiques devraient permettre de proposer des voies nouvelles pour accompagner le secteur dans une transition nécessaire et de l'assurer, ou du moins l'organiser, afin qu'il puisse respecter les engagements 2050 en termes de volume de réalisations, de qualité et de performances de celles-ci.

L'économie et le numérique au sens large procèdent d'une nécessaire transversalité entre les différents domaines d'action stratégiques, en particulier sur le plan des données qui font office de dénominateur commun. Ces deux secteurs font respectivement l'objet d'une approche systémique visant à consolider un socle commun, aujourd'hui essentiel, en matière de fiabilité des solutions, d'efficacité et de robustesse des approches transversales.

NOTRE AMBITION

Le bâtiment n'est que le reflet de la civilisation et de son évolution. Exacerbée par les nouvelles technologies, le niveau croissant d'information des différents acteurs et une aversion inflationniste du risque, notamment dans les pays à hauts revenus, cette évolution induit un changement radical de posture quant aux attentes dirigées vers le bâtiment et son environnement urbain, dont on voudrait qu'ils soient dès à présent au diapason. Ce n'est actuellement pas le cas, même pour la construction neuve, et encore moins pour le parc existant. Les approches actuelles, séquentielles et souvent disciplinaires ont fait leurs preuves, mais montrent aussi leurs limites. Si nous ne parvenons pas à les changer radicalement, tout en étant conscients qu'il n'y aura pas de rupture brutale, toutes les recherches et connaissances accumulées par les acteurs resteront « théoriques », pour ne pas dire vaines. Les différents chemins que le domaine d'action stratégique « Rénovation, fiabilisation de l'acte de construire, innovation » propose d'investiguer, de codévelopper et d'affermir, ne sont pas qu'une promesse. En étroite connexion avec les autres domaines d'action stratégiques présentés dans cette synthèse, ils devront, dans une vision systémique de coconstruction optimisée avec les acteurs, s'appuyer sur des expérimentations-réalisations opérationnelles. Au-delà de la vocation démonstrative, celles-ci permettront de justifier que les objectifs fixés à l'horizon 2050 ne sont pas une utopie, mais bien une réalité. Une réalité accessible qui doit amener le secteur à se transformer dans une logique de rupture et de continuité combinées, comme d'autres secteurs ont été et seront amenés à le faire.

RÉNOVATION, FIABILISATION DE L'ACTE DE CONSTRUIRE, INNOVATION

Programmation à horizon 2030



Occupants au cœur de la performance : parcours « usager » et clés pour suivre sa performance du début à la fin d'un projet
—
Diffusion des bonnes pratiques et des chiffres clés à destination du grand public
—
Objectif : faciliter l'implication des occupants dans l'amélioration des performances des bâtiments

Retours d'expérience sur les performances réelles et plans d'actions associés : focus particulier sur les aspects économiques et suivi des consommations énergétiques à toutes les phases des projets

Méthodes et outils d'évaluation et de fiabilisation des performances réelles : mallettes de mesure des performances des enveloppes, des systèmes et des performances globales d'un bâtiment (aspects énergétique et confort)

Diagnostic multicritère : protocole modulaire de diagnostics multicritères des bâtiments existants applicable sur des premiers démonstrateurs du parc (établissements scolaires, maison individuelle, résidentiel, collectif)

Bases de connaissances digitalisées pour la réhabilitation : initialisation d'une base de données et connaissances digitalisée sur les gestes/techniques d'isolation thermique pour la rénovation

Chaîne intégrée d'outils numériques pour l'accompagnement à la réhabilitation : simulateur rapide énergie-coûts de stratégies de réhabilitation (secteur résidentiel)

Stratégies de réhabilitation multicritères : preuve de concept d'un protocole multicritère d'assistance à maîtrise d'ouvrage pour la réhabilitation globale (établissements scolaires, résidentiel, collectif)
Partenaires : Conseil Départemental du Var, SPLAIN Marseille

Évaluation des conditions techniques et économiques de déploiement de solutions de rénovation préfabriquées/industrialisées
Partenaires : RESTORE, NOBATEK-Inef4, Greenflex

Base de Données Nationale des Bâtiments : les premiers outils CSTB se connectent à la BDNB : UrbanPrint (Partenaire Efficacy), BTPFlux, TyPy, etc.

Mise en place du socle de connaissance par croisement géospatial et intégration des bases de données publiques nationales

Développement des cas d'usages : suivi des trajectoires carbone et des consommations en eau au sein d'un parc de logements test
Partenaire : Action Logement

2024

Consolidation du protocole de diagnostic multicritère
—
Enrichissement de la base de connaissances digitalisée sur l'isolation thermique : typologies de façades et de bâtiments, gestes de réhabilitation (notamment des systèmes énergétiques), contenu des diagnostics multicritères
—
Module de détection de bâtiments types dans la BDNB enrichie de projets/gestes de rénovation types associés (résidentiel, bâtiments éducatifs)

Extensions/élargissement des scopes des mallettes pour tous les usages et intégration du multicritère pour avoir des méthodes simples et peu coûteuses d'évaluation de la performance réelle sur tout type de bâtiment
Partenaires : diagnostiqueurs terrain, développeur d'outils de diagnostics, bailleurs
—
Concertations avec les acteurs de la filière concernés en vue de l'établissement d'une feuille de route de la garantie de performance

Base de Données Nationale des Bâtiments : intégration des outils numériques du BIM au sein de la BDNB
—
Intégration de bases de données publiques disponibles au niveau régional

Récupération des coûts et volumes de la filière à différentes échelles et capitalisation sur les chiffres clés de la filière, sa structuration et la répartition de sa valeur ajoutée

Création du socle scientifique pour renforcer l'évaluation multicritère des produits (mécanique, thermique, acoustique, sanitaire, durabilité, mise en œuvre, environnemental) et développer le cadre pour l'expertise (isolants, maçonneries, eau, feu-bois, feu couvant, vent)
Partenaires : Placoplatre, RELINE, HILTI, CTMNC, CNES, LEMTA, CETHIL, CODIFAB, RISE

Fournir les éléments techniques et réglementaires pour accompagner certaines innovations de rupture
Partenaires : ENPC, LaMé Orléans, XtreeE, Vinci, Bouygues...

Développer les capacités d'essais des grands équipements du CSTB (Soufflerie Jules Verne, Four Vulcain) et renforcer l'expertise et l'analyse technique adossées aux essais

2027

Développement d'un simulateur multicritère « énergie-carbone-conforts-coûts » : outil numérique ergonomique permettant de définir des stratégies de réhabilitation multicritères en une ou plusieurs étapes, de les évaluer par la simulation et de les restituer de manière synthétique
—
Élaboration d'une feuille de route pour l'évolution, la convergence des réglementations environnementales et techniques du bâtiment existant vers la performance multicritère du bâtiment en rénovation

Mise en place de la base de données multicritère des produits sous ATec opérationnelle en 2030

Mise en place de mallettes de mesure multicritère au sein de nos laboratoires d'essais

Mise en place d'un observatoire des coûts et des volumes de la construction

Mise en place de la carte d'identité numérique du bâtiment au sein de la BDNB

Diffusion régulière de connaissances au grand public qui aura une bonne maîtrise de ses bâtiments

Large diffusion des protocoles de diagnostics multicritères aux acteurs du diagnostic et de l'accompagnement à la rénovation

Base de connaissances digitalisée complète sur le bâtiment existant et les solutions techniques de réhabilitation, connectée à la BDNB

Simulateur multicritère de stratégies de réhabilitation à l'échelle du bâtiment et d'ensemble de bâtiments

Structuration d'une capitalisation en continu des remontées des coûts et des volumes de la construction

Méthode de quantification de l'impact d'une réglementation et de ses accompagnements sur la capacité d'adaptation de la filière

2030



DES MOYENS

ÉCONOMIE CIRCULAIRE ET RESSOURCES

POUR LE BÂTIMENT

L'optimisation de l'usage de nos ressources pour la construction est indispensable pour en assurer une certaine pérennité, ainsi que pour préserver l'environnement. Elle passe notamment par l'allongement des durées d'usage, le recours au réemploi, et le développement massif des matières premières secondaires (MPS) de substitution, issues du recyclage.



NOS DÉFIS

Passer d'une approche de la construction aujourd'hui basée massivement sur l'utilisation de ressources neuves, qu'elles soient minérales ou issues de la biomasse, à une démarche qui structure le développement du réemploi et du recyclage comme approche conventionnelle, basée sur l'innovation tant technique, organisationnelle que culturelle.

Historiquement, le bâtiment avait cette vertu, de nos jours tant recherchée, d'être fondamentalement durable, et était, de ce fait, d'une modernité que l'on qualifierait aujourd'hui d'avant-gardiste. Il n'y avait cependant aucune stratégie, mais une simple utilisation des matières premières accessibles, le plus souvent locales, avec toujours cette approche du « clos couvert » qui est le « fondamental » du bâtiment, doublée d'une recherche de pérennité patrimoniale.

Les différentes évolutions sociétales, industrielles et économiques, l'ont en quelque sorte révolutionné quant à ses usages, aux services qu'il apporte – sécurité, confort... – mais, a contrario, lui ont fait perdre dans une certaine mesure ce caractère durable au sens actuel, notamment pour ce qui est des matières premières, matériaux et composants. En effet, la fonctionnalisation croissante de chacun d'eux a conduit à leur complexification, tant en termes de mix matières que d'interfaçage avec les autres éléments constitutifs du bâtiment.

Ceci pour différentes raisons, qu'elles soient liées à une augmentation des performances d'usage sensible par l'utilisateur final ou, plus simplement, à une amélioration du process facilitant la mise en œuvre et sa durée tout en augmentant l'efficacité technico-économique. Performance nécessaire pour répondre aux enjeux de croissance démographique, d'urbanisation, d'aspiration à la salubrité... Hélas avec un effet différé dans le temps, au détriment du réemploi et de la recyclabilité dont le modèle économique ne faisait pas partie de l'imaginaire collectif car les associant trop souvent à la pauvreté.

On est ainsi passé d'un gros œuvre recyclable « à l'infini » qui, au fil des siècles et des vicissitudes de l'histoire, renvoyait certaines constructions à l'état de carrière, à l'incapacité technique, mais principalement économique, de réemployer la majorité des composants du bâtiment, et tout particulièrement ceux du second œuvre. Pour ces derniers, l'enjeu est autre, au-delà de la conception et de la réalisation qui s'embarrassaient peu de la démontabilité, condition nécessaire pour le réemploi.

Du fait même de l'amélioration continue des produits de construction, tant sous pression des marchés qu'en termes de performances induites par les réglementations, ceux du second œuvre sont, par essence, un marqueur social directement « au contact » de l'utilisateur, donc visibles. Ce qui, dans une logique de réemploi, renvoie à deux notions opposées : celle du « vintage », non réglementé et qui s'accommode de manière assumée d'imperfections et de performances relatives, et celle de l'insertion comme produit « neuf » devant remplir diverses exigences réglementaires, avec la nécessité de réintégration dans un process industriel de remise à neuf, non encore abouti, tant du point de vue opérationnel qu'économique.

Pour les composants réemployés, on assiste à un hiatus entre militantisme et réalisme économique, ce dernier étant largement conditionné, pour ne pas dire concurrencé, par l'importation de composants neufs, venant de pays à bas coûts. En revanche, pour les matériaux et certains composants de gros œuvre, la tendance réemploi s'installe plus aisément. Avec, en parallèle, le recyclage qui présente la perspective la plus opérationnelle directement intégrable par l'industrie, par le développement des matières premières secondaires qui en résultent, et de certaines industrialisations remarquables (bois rabotés).

Ainsi, le réemploi et le recyclage sont-ils, au-delà des contraintes techniques, fondamentalement conditionnés du fait même des logiques culturelles profondément ancrées. Leur défi est technologique, certes, mais avant tout économique, sociétal et organisationnel.

Tout au long de son cycle de vie, le secteur de la construction est fortement consommateur de matières (minéraux, minerais, hydrocarbures, plastiques, biomasse, eau, etc.). En 2018, il représentait, avec l'aménagement, quasiment la moitié des matériaux mobilisés pour la consommation intérieure française. Avec environ 40 Mt générés chaque année, il est ainsi l'un des plus gros producteurs de déchets, à comparer aux 30 Mt issus des ménages, un constat qui apparaissait jusqu'à maintenant comme pénalisant, en termes d'image, mais surtout en termes économiques, les déchets n'ayant pas encore dépassé cette opposition classique de l'ancien et du moderne, en révélant leur image positive de ressources à part entière.

Les enjeux du XXI^e siècle qui s'imposent à nous - changement climatique, démographie, évolution des modes de vie, de production, et tout autant économiques et géopolitiques - font des déchets du bâtiment, au-delà du jeu de mots, une mine de ressources « infinie », à l'instar d'autres secteurs d'activités potentiellement plus en avance sur leur réutilisation.

Si, de surcroît, on élargit le champ du bâtiment à son environnement urbain, et que l'on y applique principalement les contraintes du changement climatique, la question de l'empreinte environnementale se pose immédiatement en termes de ressources naturelles, et tout particulièrement de l'eau, sans parler de l'espace et des services écologiques qui y sont associés. Se pose aussi celle de l'action anthropique sur ces milieux, et plus largement sur la biodiversité. Au regard des usages débridés à la fois de l'eau potable et de l'espace dans les pays développés, où la population passe plus de 80% de son temps, où l'urbanisation et la périurbanisation explosent avec leur corollaire d'artificialisation des sols, il importe de réinterroger les démarches et approches actuelles relatives à ces ressources, dans une logique d'optimisation et de sobriété.

L'optimisation de l'usage de nos ressources est donc indispensable pour en assurer une certaine pérennité – l'enjeu étant de le faire à coût maîtrisé –, mais également pour préserver l'environnement et, dans une certaine mesure, la biodiversité. Les enjeux sont économiques, organisationnels, environnementaux et politiques. Ainsi, les défis relatifs au recyclage et au réemploi sont nombreux et relèvent du changement des comportements à tous les niveaux, qu'ils soient professionnels, usagers ou citoyens. Ceci doit donc nous amener à penser la construction autrement.

NOS ENGAGEMENTS

La volonté du CSTB est de prendre une part active à l'organisation et au développement de l'économie circulaire dans le secteur du bâtiment. D'un côté, et avec ses partenaires, en levant les verrous scientifiques, techniques, normatifs, réglementaires, assurantiels et économiques qui y sont attachés. De l'autre, en fédérant les acteurs - entreprises, artisanat, industriels et usagers - pour que l'économie circulaire s'impose comme une solution alternative fiable, durable, massifiable, créatrice de valeur et d'emplois.

La nécessité d'une utilisation raisonnée des différentes ressources mobilisées directement ou indirectement par le secteur de la construction n'est plus à démontrer, vu leurs impacts aux différentes échelles, du local au planétaire. En revanche, il convient que la dynamique de développement massif du recyclage des matériaux et, plus accessoirement, du réemploi des composants, soit engagée rapidement, vu la cinétique d'évolution du secteur et les échéances des engagements nationaux et internationaux.

Si des leviers techniques sont encore à développer, dans le cas de la formulation des produits intégrant des matières premières secondaires notamment, par rapport aux exigences sanitaires et réglementaires actuelles, ainsi que pour la caractérisation de leurs performances (il en est de même pour les composants du réemploi), le défi réside principalement dans la structuration du processus.

Cela passe par la connaissance du gisement, que ce soit pour le réemploi et, de manière moins prégnante, pour le recyclage. Il en est de même pour les procédés constructifs et d'assemblage : forcément anciens, ils n'intègrent pas systématiquement de logique de démontabilité dans leur conception. D'autre part, dans une perspective d'industrialisation « nécessaire », la difficulté de cette démarche réside dans le caractère presque essentiellement diffus du gisement, au-delà des spots de rénovation lourde de bâtiments conséquents, rattachés au tertiaire ou à l'habitat. Ceci renvoie à la logistique au sens large qui, au-delà du caractère organisationnel qui lui est associé, sera une des principales clés du modèle économique devant permettre le développement généralisé de la démarche, plus qu'encouragé par la décarbonation qui s'impose au secteur du bâtiment. Son statut, dans la recherche comme dans ses activités opérationnelles, donne au CSTB un rôle de facilitateur sur le sujet de l'économie circulaire. Il s'agit de favoriser et de développer la montée en compétence des acteurs en construisant et en diffusant les connaissances, afin d'aboutir à un processus structuré, pour ne pas dire structurant, de l'économie au sens large.

Connaitre et valoriser

Cela passe par la connaissance « précise » du gisement, basée sur la connaissance détaillée du parc au niveau de chaque bâtiment, que ce soit sur une base statistique, à l'échelle macroscopique ou sur la base des diagnostics à l'échelle du projet de déconstruction – reconstruction – réaménagement. La Base de Données Nationale du Bâtiment (BDNB), associée aux bases de connaissances des modes constructifs, des projets et des audits qualité construction de l'AQC, sont un socle plus que solide pour ce point.

Au-delà de la disponibilité de la ressource, condition sine qua non, il convient de qualifier celle-ci pour en évaluer les différentes caractéristiques nécessaires en vue soit du réemploi, soit du recyclage. Pour le réemploi, cela passe par la définition de protocoles d'évaluation des produits/composants, avec ou sans intégration dans un processus de remise à neuf, en tenant compte des performances résiduelles et du vieillissement en œuvre. A l'instar des produits provenant de matières premières vierges, les matières premières secondaires issues du recyclage devront satisfaire aux standards actuels, tout particulièrement pour les aspects sanitaires relatifs à des polluants REACH. Pour les propriétés physico-chimiques pouvant impacter les formulations, les solutions passeront par le [sur]dimensionnement ou la limitation des domaines d'utilisation, afin d'aboutir à des usages en conditions d'utilisation moins sévères.

De même, il importe d'avoir une connaissance précise des flux de matières, tant du point de vue physique qu'économique, éclairée par leurs conditions d'implantation et d'usages. Ceci permettra, d'une part, de pouvoir organiser la filière en faisant émerger des solutions de substitution tant de réemploi que de recyclage, avec une connaissance précise des besoins et des tendances associées ; d'autre part, de renforcer l'attractivité de ces « nouvelles » activités industrielles auprès des investisseurs. Comme pour beaucoup de sujets, la contrainte est avant tout économique, avec la nécessité d'un prix de marché équivalent, voire inférieur, à celui de la ressource neuve, et l'exigence d'un volume croissant de substitution, afin d'arriver à un modèle économique rentable, garant de la logique de l'économie circulaire.

Structurer

L'objectif de circularité impose donc de revisiter le processus constructif, avec les différentes composantes de la chaîne de valeur, en y associant les nouveaux acteurs – la logistique, pour n'en citer qu'un en référence au caractère diffus des gisements – ceci dans une logique du cycle de vie du bâtiment, intégrant cette mutation à moyen terme vers un taux de recyclage élevé du bâtiment. Les modèles économiques, comme les filières, sont à construire et devront prendre en compte les politiques publiques, qu'elles soient incitatives (aides, taxations) ou réglementaires, dans une vision actuelle et prospective à l'échelle nationale et européenne. Concernant les filières de recyclage, le caractère à la fois atomisé et très hétérogène des produits ou matériaux, qui sont aujourd'hui pensés comme exclusivement issus de la filière construction, conduit à interroger la structuration industrielle à l'aune de l'innovation foisonnante en termes de nouveaux matériaux. Vu son potentiel en termes de volume et d'accessibilité, le modèle du localisme devra s'effacer devant des logiques d'industries multinationales, comme c'est le cas pour les matériaux métalliques ou ceux issus de la chimie. L'exemplarité des secteurs automobile, aéronautique et ferroviaire quant au passage à une recyclabilité industrialisée (taux recyclabilité et valorisation de l'ordre de 96% pour l'automobile) sera particulièrement intéressante à étudier.

Préserver les ressources

Au sens général, et en référence aux ressources naturelles, mais plus particulièrement à l'eau dont la pénurie impacte directement, et à très court terme, la vie dans sa globalité (humaine, animale, végétale). Le CSTB a depuis longtemps développé une approche intermédiaire à l'échelle du bâtiment et de sa parcelle (composante essentielle du petit cycle de l'eau), quant à l'optimisation des eaux de différentes natures : que ce soit pour les apports naturels en eau relatifs au climat, et pour l'optimisation des usages de l'eau potable et des eaux grises notamment afin d'en réduire la consommation et la ponction sur les milieux. Connectée aux échelles supérieures, cette démarche permet d'interroger la dispersion des polluants dans le grand cycle de l'eau. Les récents effets rapprochés du changement climatique durant les périodes estivales de la dernière décennie ont remis au premier plan la pénurie de cette ressource dans tout le territoire, rappelant les climato-sceptiques à la simple réalité : l'eau est source de vie, et y accéder sans compter n'est plus une certitude pour les pays riches. Les différents usages qui y sont associés s'ancrent évidemment dans le bâtiment, bien que l'aménagement urbain joue aussi un rôle déterminant, notamment via l'artificialisation, les trames bleues et vertes... L'équilibre entre échelles, types d'eaux et fonctionnalisation associée – nourricière, énergétique, thermique, support à la biodiversité, etc. – doit permettre, par une optimisation et une priorisation des usages, de préserver la ressource, en s'appuyant sur des technologies adaptées. Revisiter drastiquement les modes d'utilisation et les réglementations associées à l'eau potable et aux eaux grises, sur la base d'un changement culturel très profond, est également nécessaire, à la fois sur le plan sécuritaire et sanitaire, et sur le plan citoyen, en lien avec la remise en perspective du dogme « accessibilité à l'eau pour tous, en tout lieu, sans compter, sans contrepartie ».

LES GRANDS AXES

Ce domaine d'action stratégique « Économie circulaire et ressources pour le bâtiment » est organisé autour de trois axes :

CONNAÎTRE LES FLUX DE MATIÈRES ET ANTICIPER L'ADÉQUATION DES BESOINS AVEC LES RESSOURCES DISPONIBLES À L'ÉCHELLE TERRITORIALE ET NATIONALE

L'objectif est de disposer d'un ensemble d'outils (bases de données, modèles, expérimentations) pour orienter les actions du CSTB et des acteurs de la construction, à l'échelle du projet et de ses composants, sur les matériaux les plus critiques et/ou impactants, d'observer l'émergence et l'efficacité des modèles économiques associés à l'économie circulaire et de se doter d'éléments de prospective pour prendre en compte le temps long du secteur de la construction.

1 **PROMOUVOIR L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE ET PERMETTRE SON INDUSTRIALISATION**

Cela implique pour le CSTB : de diffuser de la connaissance concernant la matérialité du parc de bâtiments existant et les flux de matériaux associés à la construction, à la déconstruction et à la réhabilitation ; d'informer les acteurs sur les alternatives (en matière de ressources et de gestion des déchets) et de les amener ainsi à modifier leur perception (volumes, faisabilité technique et économique). Enfin, le CSTB contribuera à favoriser l'émergence d'offres de biens et de services (prestations en lien avec la gestion alternative des ressources et déchets).

2 **Comprendre les enjeux de l'économie de ressources et de l'économie circulaire**

Les travaux menés ont pour objectif de disposer et de diffuser une vision panoramique de la criticité des matériaux et ressources (y compris en eaux) et des impacts associés à leur extraction, transformation et fin de vie pour permettre une priorisation des actions. Le CSTB adresse, avec l'ADEME et un groupe d'acteurs, la question suivante « Quelles sont les perspectives de développement de l'économie circulaire dans le bâtiment et quelles seront les conséquences pour les acteurs et l'environnement ? » Enfin, le CSTB analyse les modèles économiques des filières pour comprendre, développer et encourager le[s] modèle[s] le[s] plus efficient[s].

3 **Connaître les flux et les stocks de ressources et déchets pour un territoire**

L'objectif est de développer une meilleure compréhension des stocks de matières et des flux (à la fois entrants et sortants) associés, et ce, à une échelle allant de l'opération d'aménagement jusqu'au territoire national. Il s'agit d'anticiper les flux de déchets à venir sur un territoire donné pour permettre aux acteurs de mettre en place les meilleures solutions pour les valoriser ou gérer leur fin de vie. BTPFlux, développé dans ce cadre, modélise les flux de matières et de déchets dans les bâtiments et fait appel à une connaissance du parc existant, une reconstitution fine des bâtiments en généralisant une approche par macro-composants, des scénarios de construction-déconstruction-réhabilitation sur un territoire donné.

VALORISER LA MATIÈRE ISSUE DES BÂTIMENTS EXISTANTS

Le bâtiment s'inscrit dans des dynamiques de construction, de rénovation et de déconstruction lentes. Ainsi, la problématique de gestion de la matière issue des bâtiments existants va concerner plusieurs générations. L'augmentation des coûts des matières premières, couplée à des difficultés d'approvisionnement et à une plus grande sensibilité aux impacts environnementaux, fait ainsi ressortir le potentiel et l'intérêt stratégique de ce stock.

1 **Favoriser le passage à la déconstruction sélective et les démarches de valorisation matière**

Le CSTB oriente ses travaux sur la montée en gamme du diagnostic « produits, équipements, matériaux et déchets » avant démolition, et le développement d'outils, de méthodes et de métriques permettant aux maîtres d'ouvrage de placer la valorisation matière au cœur de leurs stratégies de gestion d'opérations.

2 **Développer le réemploi et industrialiser le recyclage**

Pour accompagner la massification du réemploi, et le déploiement de l'offre et de la demande, l'enjeu est de le sécuriser en accompagnant les acteurs dans la mise en place de règles communes. Les priorités portent sur des sujets tels que la durabilité et la durée de vie des produits, matériaux et équipements, ou l'évaluation de leurs performances en vue de leur réutilisation. Le CSTB s'empare, par ailleurs, des questions d'évaluation des performances techniques et sanitaires, ainsi que de durabilité de produits issus de matières premières recyclées, en accompagnant les acteurs industriels tout au long de leur processus de mutation des matières premières vierges à secondaires.

3 **Optimiser la gestion des eaux pluviales, des eaux grises et eaux usées, des eaux de process**

Pour limiter les consommations d'eau potable tout en utilisant l'eau comme support de la biodiversité et du rafraîchissement urbain, le CSTB travaille sur les usages des eaux non conventionnelles (eaux grises, eaux de pluie, etc.) afin d'en garantir les performances techniques et de les sécuriser sur le plan sanitaire. Le CSTB a, dans ses objectifs, de concourir à réduire les consommations associées au processus constructif, d'améliorer l'efficacité des équipements, de diversifier les types d'eau utilisés, notamment en intensifiant le réemploi, d'améliorer la qualité des eaux rejetées dans l'environnement en analysant les performances des systèmes de traitements autonomes et d'accompagner l'innovation permettant des alternatives à l'usage de l'eau elle-même (toilettes dites réinventées). Il s'intéresse aussi au patrimoine que constituent les réseaux et au maintien de leurs performances dans le temps.

NOS PRIORITÉS

Le secteur de la construction est un des plus gros consommateurs de matières premières, le deuxième émetteur de gaz à effet de serre, le plus grand consommateur d'énergie avec le transport. Si l'on y ajoute l'évolution atone de sa productivité comparée aux grands secteurs industriels, ce palmarès pourrait le vouer irrémédiablement aux gémonies.

Cette difficulté chronique à atteindre les objectifs qui lui ont été fixés, en termes de qualité, productivité et de quantité de rénovations et de réalisations neuves, s'avère aujourd'hui être de fait une formidable opportunité d'évolution drastique. Principalement du fait des contraintes liées au changement climatique qui s'imposent à nous, particulièrement sur les émissions de gaz à effet de serre et les ponctions sur les ressources naturelles, sans parler des impacts sur l'environnement qu'elles engendrent. Cela dans un calendrier et des engagements qui ne souffriront pas de retard quant à l'atteinte des objectifs : le parc de bâtiment doit être rénové dans sa totalité d'ici 2050.

Au-delà des aspects purement techniques, allant des données de tout type à l'inventaire des technologies passées et actuelles, des innovations aux modèles et simulations de cas complexes, et à la formulation des solutions et des leviers pour leur optimisation au cas le cas, un simple rappel à la réalité s'impose à nous : Quelle est, en fait, la réalité du parc ? Le connaissons-nous vraiment ?

La réponse pourrait paraître simple, mais elle ne l'est pas, à force d'approches théoriques, désincarnées. Connaître le parc revient avant tout à connaître le chantier avec réalisme quant aux modes constructifs, aux « règles de l'art », aux interfaces entre matériaux et composants, à l'effectivité et à la variabilité des mises en œuvre... Si cela peut être le cas pour une opération de construction neuve, le problème s'avère plus complexe en revanche pour la rénovation, le secteur n'étant pas connu pour la traçabilité des réalisations. Ainsi, dans la déconstruction, où le processus est essentiellement manuel, notamment pour les produits à visée de réemploi, verse-t-on rapidement dans l'empirisme avec ses approches basées sur des savoir-faire plus ou moins pertinents. Ceci impose donc de mettre en place des protocoles d'opération afin d'assurer un niveau de qualité minimal, permettant, en excluant les extrêmes, de fiabiliser les solutions de réemploi, qu'elles soient directes ou indirectes car passant par une remise à neuf.

En revanche, pour le recyclage, qui in fine relève plus du traitement des déchets et de la gestion des intrants, les solutions techniques existent ou existeront. Elles permettront, lors du processus de génération des matières premières secondaires, de s'affranchir, dans une certaine mesure, de démontages approximatifs incluant des pollutions vis-à-vis d'utilisation future (exemple de la pollution du ciment par le plâtre).

La nécessité de connaissance détaillée du projet existant est donc une priorité afin que la première étape du processus de l'économie circulaire soit fiabilisée.

La deuxième priorité réside dans une analyse économique détaillée du processus de construction actuel avec des produits basés sur des matières premières vierges (ou incluant un faible pourcentage de déchet du même procédé de fabrication). Il en est de même pour les produits issus du recyclage en développant le modèle actuel de l'économie circulaire. Avec la perspective d'un impact faible à négatif sur l'ensemble du projet, la comparaison des deux réalités économiques doit éclairer les pistes les plus pertinentes pour assurer une massification de l'économie circulaire, à coût maîtrisé. La seule perspective de développement de l'économie circulaire dans le bâtiment passe par un impact mineur sur le coût de la construction, dans la complétude du projet.

CONCEVOIR CIRCULAIRE

Avec un taux de renouvellement inférieur à 1% par an, exacerbée par les enjeux liés au changement climatique, aux transitions énergétique et environnementale associées, ainsi que par la nécessité de décarbonation, la situation actuelle du parc est presque idéale modulo un taux de déconstruction très faible, pour que la mutation vers une économie circulaire de la construction s'engage et se développe. Elle s'appuie sur un héritage bâti qui n'a que très rarement pris en compte dans sa conception, et tout autant dans sa réalisation, le concept de réutilisation, hormis, comme rappelé en introduction, dans une lecture historique principalement rattachée au gros œuvre (enveloppe, poteaux, poutres, couverture...).

Intégrer les principes de l'économie circulaire au stade de la conception des produits, des ouvrages ou des projets d'aménagement représente un levier considérable en termes de réduction des impacts environnementaux et de limitation des flux de matières.

La conception dans une logique de recyclage est le point clé d'une atteinte des objectifs dans la durée. Elle suppose, pour tout projet, et aux différentes échelles, l'utilisation prioritaire et majoritaire des produits issus du recyclage, ainsi que, dans une moindre mesure, du réemploi, eu égard notamment à certaines réglementations et obligations. Elle s'appuie sur une optimisation des ressources naturelles, et plus particulièrement celles en tension. Elle passe par une revisitation des systèmes, notamment au niveau de leurs interfaces, dans une perspective de démontabilité à terme, comme cela redevient à nouveau le cas pour les produits industriels et leur réparabilité.

Il s'agit donc de travailler sur les indicateurs de pression et les indices de qualité qui favoriseront l'éco-conception et de traiter le sujet de la durée de vie des produits et ouvrages. Il est nécessaire d'intégrer des critères environnementaux, sociaux et sanitaires dès la conception d'un produit ou d'un ouvrage. Cela permet d'anticiper plusieurs cycles de vie, d'optimiser les scénarios de valorisation en fin de cycle et de limiter les impacts, notamment sur l'extraction de ressources non renouvelables au moment de la production. Il s'agit aussi, bien sûr, de travailler sur la sobriété en optimisant les consommations de ressources énergétiques et non énergétiques, et de favoriser la capacité des produits et ouvrages à s'adapter à différents usages.



Il est nécessaire d'intégrer des critères environnementaux, sociaux et sanitaires dès la conception d'un produit ou d'un ouvrage



Travailler sur l'économie circulaire réinterroge notre rapport à la nature, au patrimoine existant et à venir, au travers de notre accès aux ressources.

La conjugaison d'un très faible taux de déconstruction du parc, au sens d'une démolition complète, et d'une rénovation intégrale du parc d'ici 2050 impose de coordonner dans une approche d'économie circulaire, renforcée en cela par le caractère diffus et parcellaire de la rénovation. Dans le cas du recyclage, comme pour toute activité marchande, le problème est fondamentalement économique avec une équation de bouclage iso par rapport aux approches actuelles, hors aides et dégrèvement fiscaux. Gardons en tête que le renchérissement de la mobilité électrique à iso performance servicielle obère d'autant la capacité d'endettement des ménages pour la rénovation de leur logement, qui plus est pour un taux de retour peu attractif. Ainsi, il importe que les matières premières secondaires (MPS) provenant du recyclage soient issues de processus industriels permettant une réduction significative des coûts de production, afin que leur intégration dans les procédés courants n'impacte pas, ou très peu, les produits se substituant à ceux issus de matières premières vierges.

Il en sera de même pour l'optimisation du processus d'économie circulaire appliqué au bâtiment, au vu de la chaîne d'acteurs actuels, de la mise en place des REP et des recycleurs, dans une approche sociologique des organisations sous contraintes économiques et réglementaires, où l'approche paritaire, certes garante des grands équilibres, est à interroger. Que ce soit face à la transformation attendue du secteur, en termes de volumétrie, de cinétique de transformation ou de respect des échéances, le tout sous fortes contraintes économiques, de capacité de réalisation et d'attractivité des emplois associés au recyclage.

En parallèle, la qualification des performances des produits issus de MPS devra intégrer l'évaluation des impacts sanitaires, comme c'est le cas au niveau déclaratif par les FDES, suivant que les canaux sectoriels proviennent du bâtiment ou d'autres secteurs (électronique, automobile ou aéronautique, concernant la présence de nanotubes de carbone par exemple). Le risque d'insuffisance de gisements, ouvrant, via l'innovation, des opportunités sans limites quant aux matériaux hybrides (biomasse + MPS). Les protocoles d'évaluation de celles-ci devront ainsi être développés, en lien avec les partenaires académiques, pour qualifier, au-delà de leurs performances spécifiques, leur durabilité sous différents types de vieillissement et sollicitations.

NOTRE AMBITION

À l'image des enjeux des autres domaines d'action stratégiques, et plus particulièrement celui de la « Rénovation, fiabilisation de l'acte de construire, innovation », l'économie circulaire et les ressources pour le bâtiment positionne le CSTB au cœur des problématiques socio-technico-économiques résultant du changement climatique et de sa prise de conscience maintenant établie.

Alors que la pression sur les ressources naturelles atteint ses limites, que la construction bas carbone devient un fondamental, renforcé par la nécessité de rénovation massive du parc de bâtiment, le CSTB s'engage avec les acteurs dans la structuration de l'économie circulaire pour le bâtiment. Travailler sur l'économie circulaire réinterroge notre rapport à la nature, au patrimoine existant et à venir, au travers de notre accès aux ressources. C'est également faire évoluer radicalement les pratiques et les métiers associés, pour les faire entrer dans une autre dimension.

L'ambition est de remettre en question notre manière de considérer, d'utiliser et de mobiliser les ressources naturelles, de revoir le mode de consommation linéaire du secteur de la construction en optimisant le recours, a minima, à des matières premières vierges et en envisageant tout matériau, produit ou ouvrage existant comme une ressource préférentielle. Dans une vision de démontabilité et de recyclabilité future, ceci conduit à revisiter les modes construction-déconstruction, ainsi que ceux de production et d'assemblage des différents composants et, en parallèle, et l'industrialisation des matières premières secondaires, entre autres. Dans ce cadre, le CSTB devra intégrer plus encore le chantier comme une composante essentielle pour l'économie circulaire, comme la logistique, dont les impacts sur les équations économiques seront fondamentaux. Autrefois marginale et considérée comme mineure, l'activité de collecte, de tri et de réutilisation des matériaux est aujourd'hui revalorisée, du moins théoriquement. Pour qu'elle soit créatrice de valeur et d'emplois, plusieurs verrous de nature très diverse doivent être levés, allant des techniques aux comportements, à la sociologie des organisations et bien évidemment à l'économie. Devant l'importance du sujet et la multiplicité des enjeux associés, le CSTB en a fait l'une de ses priorités de recherche.

ÉCONOMIE CIRCULAIRE ET RESSOURCES POUR LE BÂTIMENT

Programmation à horizon 2030

Gestion des eaux

Matières premières secondaires - Valorisation de la matière

Conception Circulaire des produits et des ouvrages

Matières premières secondaires - Connaissance des flux

Durabilité des performances

2024

BTPFlux :
outil pour modéliser à l'échelle régionale ou nationale, les flux de matières et de déchets issus des bâtiments. Il permet d'anticiper les flux de PEMD en vue de favoriser la mise en place d'une économie circulaire

Couplage de la BDNB et de TyPy,
base de données CSTB de macrocomposants, permettant de modéliser la matérialité des bâtiments
Partenaires : collectivités, villes, métropoles, gestionnaire de parcs, diagnostiqueurs PEMD, acteurs de la recherche (France & Europe)

Plateforme PEMD :
plateforme numérique accessible à tous pour accompagner la mise en place des diagnostics portant sur la gestion des produits, équipements, matériaux et déchets (PEMD). Permettra de recevoir, en amont du chantier, les diagnostics PEMD et de mettre en visibilité les gisements identifiés et, en fin de chantier, de recevoir les récolements
Partenaires : DHUP, ADEME

Prospective économie circulaire :
démarche de prospective, principalement qualitative, portant sur l'élaboration de scénarios différenciés de développement de l'économie circulaire à l'horizon 2035
Partenaires : ADEME, FPI France, GRDF, EDF, IGNEs, GIMELEC

Réemploi - guides de diagnostic et d'évaluation des performances :
rédaction et diffusion de guides méthodologiques pour accompagner la pratique du réemploi, pour chaque famille de produits
—
Accompagnement et fiabilisation de la mise en place d'une économie circulaire
Partenaires : Diagnostiqueurs PEMD, entreprises de la construction, maîtrise d'œuvre

Projet Spirou :
Sécuriser les Pratiques Innovantes de Réemploi via une Offre Unifiée
—
Lancement du projet SPIROU. Rédaction de protocoles de caractérisation pour 10 typologies de composants. Formalisations de retours d'expérience associés
Partenaires : ADEME, A4MT/Booster du réemploi, Qualiconsult et Mobius réemploi

Pathologie liées à l'humidité :
cartographie du risque de la présence d'eau dans le bâtiment

Usage des eaux non conventionnelles dans le bâtiment :
évaluation de la circularité de l'eau au sein du bâtiment et de la parcelle pour démontrer la faisabilité et l'intérêt des solutions techniques en sécurisant les risques sanitaires (gestionnaires de parcs de logements, bureaux d'études, industriels)
—
Pour accompagner les acteurs dans leurs actions de sobriété d'usage de l'eau, une connaissance précise et actualisée des besoins en eaux des bâtiments (collectivités, gestionnaires de parcs de logements)

Projet APICIPO :
définition d'échelles de référence des indicateurs de circularité concernant différentes familles de produits, lots et sous lots des bâtiments neufs

Outil EC2 :
développement d'un outil d'analyse de la circularité à l'échelle des ouvrages neufs
Partenaires : ADEME, Alliance HQE, EVEA

ECOSCALE
jeu d'indicateurs déployable à l'échelle des composants pour caractériser les efforts de conception circulaire
—
Développement de quatre indicateurs qui caractérisent le contenu en matière recyclée et biosourcée, la démontabilité, la recyclabilité et la réemployabilité des produits de construction
—
Consolidation d'un référentiel technique décrivant la méthodologie de calcul de ces indicateurs

Réemploi - signe de qualité des centres de reconditionnement :
développement d'un signe de qualité pour faire reconnaître les process des plateformes de reconditionnement des produits issus du réemploi (MGP, CSTB)

Projet E2IC :
pour une meilleure connaissance des impacts en phase chantier. Renforcement des connaissances sur les impacts environnementaux associés à la phase chantier. Développement d'un outil d'aide à la décision et d'évaluation paramétrable adapté aux périmètres de construction neuve, rénovation et déconstruction

BTPFlux :
ouverture des codes et bases de données aux acteurs académiques puis opérationnels
—
Anticiper les flux de PEMD en vue de favoriser la mise en place d'une économie circulaire

Réemploi :
davantage de guides de diagnostic et d'évaluation des performances disponibles pour d'autres familles de produits

Outil EC2 :
développement d'un outil d'analyse de la circularité des composants pour la rénovation

Circularité de l'eau :
développement de guides techniques pour la mise en œuvre de boucles de réutilisation et réalisations d'ATEX pour réduire l'empreinte eau des bâtiments et contribuer à préserver la ressource en eau (gestionnaires de parcs de logements, industriels)

Développement d'outils de suivi de consommation d'eau de parc de logements (en lien avec la BDNB) en vue d'identifier les opérations de maintenance prioritaires (changement d'équipements, réalisation de travaux...) et de mettre en place des campagnes de sensibilisation sur les usages (gestionnaires de parcs de logements)

Observatoire de la durée de vie en service sur le terrain pour mettre en place et capitaliser un retour de données du terrain et alimenter notre connaissance des durées de vie « réelles » des ouvrages

Nouveaux protocoles de vieillissement accéléré pour les composants de l'enveloppe dans un contexte de changement climatique

Prédiction de la matérialité des bâtiments :
anticiper les flux de PEMD en vue de favoriser la mise en place d'une économie circulaire dans un contexte de changement climatique

Réemploi :
corpus complet de guides méthodologiques pour le diagnostic et l'évaluation des performances pour tous les composants pouvant être réemployés afin d'accompagner et de fiabiliser la mise en place d'une économie circulaire

2027

2030

LA POLITIQUE PARTENARIALE DU CSTB

/56/

Seul organisme français à travailler sur le système bâtiment dans sa globalité, le CSTB s'efforce d'entraîner, au travers de partenariats structurants, les grands noms de la recherche française pour accélérer sa production de résultats tangibles et crédibles.



LA POLITIQUE PARTENARIALE

La vision du bâtiment proposée par le CSTB est bien installée au sein de la communauté scientifique. Aujourd'hui, il est clair pour tous les acteurs de la filière que la recherche dans ce secteur doit être systémique, déclinée avec une logique d'échelle et fortement interdisciplinaire.

Piloter cette recherche impose certes une approche globale, mais également des contributions spécifiques de haut niveau dans des domaines très variés, allant de la physique appliquée à la sociologie en passant par l'économie. La légitimité du CSTB n'est plus à prouver, mais il n'a pas à lui seul les ressources nécessaires pour répondre à toutes les questions que l'objet bâtiment pose à la recherche.

Cette double contrainte de diversité des champs disciplinaires et de moyens justifie sa politique de ressourcement et de partenariat.

Développer des partenariats structurants

Seul organisme français à travailler sur le système bâtiment dans sa globalité, le CSTB s'efforce d'entraîner, au travers de partenariats structurants, les grands noms de la recherche française pour accélérer sa production de résultats tangibles et crédibles. Dans le cadre de rencontres et d'actions communes, il établit progressivement avec ces derniers une relation de confiance basée sur la communication et s'inscrivant dans la durée.

Au-delà des actions coprogrammées, le fonctionnement en réseau constitue également le moyen de parvenir à la promotion et au renforcement des approches systémiques dans le secteur. Pour ce faire, l'adhésion à des pôles de compétitivité ou la participation à des associations sont nécessaires dans le but de développer des connaissances et d'entretenir des relations mutuellement bénéfiques.

Les partenariats emblématiques

Parmi les nombreux partenariats que le CSTB entretient, le plus emblématique est celui engagé avec le Centre national de la recherche scientifique (CNRS). Sur des sujets de niveau académique, il consolide les connaissances du CSTB dans des disciplines telles que les sciences humaines et sociales. Il renforce également son savoir sur des sujets pointus de science des matériaux.

Par ailleurs, avec le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies (CEA), le CSTB mène des travaux autour des réseaux électriques. Ceux-ci incluent l'échelle du bâtiment comme producteur et consommateur spécifique, ainsi que la gestion de la mixité énergétique au niveau du quartier.

Le Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (CEREMA), qui bénéficie d'un ancrage et d'un maillage territoriaux solides, et le CSTB contribuent à un certain nombre de projets de recherche, notamment sur le changement climatique et ses enjeux énergétiques. Ainsi, ils accompagnent le développement des connaissances sur la garantie de performance énergétique in situ des bâtiments et la définition d'approches innovantes pour traiter la question des îlots de chaleur urbains (ICU).

Les besoins sur les ICU, la redéfinition des crises centennales et la cartographie de l'hydrométrie des sols, en lien avec le risque structurel, dessinent également et naturellement un partenariat avec Météo France.

Enfin, le questionnement sur la nature du sol au niveau des structures dans les quartiers de Marseille, à la suite de l'effondrement des bâtiments de la rue d'Aubagne, illustre le besoin de réponses et justifie pleinement un partenariat avec le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM), étendu à l'existence de besoins sur la géothermie « basse enthalpie ».

Cette politique de partenariats scientifiques structurants est renforcée par la nécessité qu'a le CSTB de contribuer au plus haut niveau à la formation initiale d'experts dans le domaine du bâtiment.

LE CNRS

Afin d'assurer son ressourcement, de contribuer à lever les verrous scientifiques et de répondre aux exigences des bâtiments de demain, le CSTB a consolidé ses liens avec le système de recherche français et signé, en 2020, un partenariat emblématique avec le Centre national de la recherche scientifique (CNRS).

Les deux organismes entendent ainsi consolider leur complémentarité pour approfondir des sujets de recherche en phase avec les nouveaux enjeux techniques, économiques et sociétaux de la construction et de l'aménagement.

Les sciences au service des bâtiments et de la ville de demain

Les deux partenaires ont pour ambition d'associer leur expertise, leurs compétences et leur savoir-faire autour de trois thématiques fondamentales pour anticiper l'évolution des bâtiments et de la ville de demain :

- les sciences de l'ingénierie et des systèmes, en particulier les questions liées à l'énergie et la rénovation durable au sens large, dans la continuité des collaborations existantes ayant déjà réuni les équipes du CNRS et du CSTB ;
- les sciences du numérique, plus spécifiquement l'intelligence artificielle, la modélisation 3D, les objets connectés et l'adaptation des technologies numériques aux enjeux de la construction ;
- les sciences humaines et sociales, notamment en lien avec l'évolution des pratiques et besoins des usagers et tout autant des professionnels. Intégrer cette préoccupation, dès la phase conception des ouvrages, est en effet un enjeu

majeur pour le CSTB, et plus largement pour les bâtiments et la ville de demain qui imposent d'adopter une vision nouvelle, associant techniques et usages, éclairés par les approches économiques.

Sont envisagées différentes formes d'actions comme des collaborations de recherche à objectifs partagés, des échanges d'informations pour faire avancer le débat technique ainsi que le dialogue scientifique, et promouvoir l'innovation, l'organisation commune de conférences, de séminaires et de colloques.

Les actions engagées

Un appel à projet commun CNRS-CSTB, lancé en 2021 à travers la Mission pour les initiatives transverses et interdisciplinaires (MITI), a permis de soutenir des recherches interdisciplinaires et innovantes, destinées à lever des verrous liés aux bâtiments dans la ville durable. « Diminution des rejets fluides de bâtiments par l'intégration de culture de microalgues en façade », « Des mamouths à l'architecture : les os longs de proboscidiens comme modèles de piliers » (tests mécaniques comparant la résistance de colonnes classiques et celle de colonnes inspirées d'os d'éléphant) et « Risques climatiques de fissures territoriales et sociales : recherche d'un accompagnement résilient » en sont quelques exemples.

Un workshop, organisé en juin 2022, a fait émerger des synergies entre les communautés CNRS consacrées aux sciences humaines et sociales et les acteurs des différents domaines d'action stratégiques du CSTB.

Il a également permis de poser les bases d'un partenariat sur des sujets d'intérêt commun :

1. améliorer la compréhension des comportements et des pratiques individuelles pour promouvoir les innovations dans l'acte de construire et de rénover ;
2. appréhender les innovations numériques ;
3. comprendre les modalités de l'action collective pour engager la transition écologique ;
4. trouver un modèle économique soutenable pour promouvoir des environnements bâtis performants et inclusifs.

Au-delà des actions déjà engagées qui s'enrichiront dans les années à venir, de nouvelles perspectives de recherche sont consolidées dans le cadre des partenariats existants avec les unités mixtes de recherche, portées par le CNRS, sur les thématiques :

- économie circulaire : UMR 5 600 Environnement, ville, société ;
- adaptation au changement climatique : Centre d'énergétique et de Thermique de Lyon (CETHIL), Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur pour l'environnement (LaSIE) ;
- risque incendie : Laboratoire Energies & Mécanique Théorique et Appliquée (Lemta), Laboratoire Navier ;
- qualité sanitaire de l'eau ou de l'air : LaSIE, Laboratoire Analyse, Modélisation, Matériaux pour la Biologie et l'Environnement (LAMBE) UMR 8587 ;
- mesures de performances : Laboratoire procédés énergie bâtiment (Locie) ;
- innovation verte (Economix).

LE CERTES

Le Centre d'Études et de Recherches en Thermique Environnements et Systèmes (CERTES) de l'université Paris-Est Créteil Val-de-Marne (UPEC) est spécialisé dans les domaines de la physique des transferts et de la modélisation des systèmes énergétiques et environnementaux.

La collaboration entre le CERTES et le CSTB, initiée en 2003 autour de l'étude du transport et de la survie des bioaérosols dans les bâtiments, se poursuit sur le thème des aérocontaminants associant leur mesure, leur caractérisation, ainsi que la modélisation de leur impact sur la qualité de l'air intérieur.

L'exposition virale au cœur du projet

Au regard de la situation pandémique actuelle, l'étude sur les déterminants environnementaux de l'exposition virale prend un intérêt tout particulier. Les objectifs généraux de cette collaboration visaient l'amélioration de la connaissance de l'exposition des occupants aux virus respiratoires et la proposition des premières bases de solutions de gestion, compatibles avec l'usage des espaces clos.

De même, associé à l'université Laval (Québec), le CSTB a adopté une démarche multi-échelle, avec l'étude du comportement de virus en laboratoire, puis dans un environnement maîtrisé, et enfin *in situ*. Ainsi, une méthodologie de mesure de l'exposition aux virus respiratoires a été proposée et validée dans le cas d'une salle de classe, lors des épisodes de grippe saisonnière de 2015 et 2016.

Concernant le développement de solutions de réduction de l'exposition aux virus respiratoires, l'impact de l'hygrométrie, de la température et de différentes substances chimiques a été appréhendé en laboratoire. Parmi les solutions de décontamination mises en œuvre en environnement réaliste, la pertinence du contrôle de l'hygrométrie ambiante a été confirmée.

Chiffres clés de ces collaborations

Ces partenariats fructueux ont donné lieu au co-encadrement de neuf doctorats et cinq postdoctorats, à la valorisation des travaux par 12 publications, un brevet, 41 actes de congrès internationaux ou nationaux. Le laboratoire CERTES et le CSTB ont été lauréats de cinq appels à projets de recherche.

Ces collaborations ont également donné lieu à l'élaboration de nombreux bancs expérimentaux originaux pour l'étude des bioaérosols, au développement d'un code de calcul sur l'émission et la dispersion de particules émises lors des phases respiratoires HEEDIE (Human Exhaled Emission and Dispersion in Indoor Environment), à la conception d'un microcapteur à bas coût pour la détection et la mesure de la concentration des particules en collaboration avec l'École Supérieure d'Ingénieurs en Électrotechnique et Électronique (ESIEE).

Pandémie et environnements bâtis

Fort de son expertise sur le thème des « bioaérosols et environnements intérieurs » et pour répondre aux problématiques liées à la qualité de l'air intérieur mises en lumière lors de la crise sanitaire, le CSTB a engagé, en 2021, un programme de recherche « Pandémie et environnements bâtis », impliquant des partenaires académiques dotés d'une forte expertise scientifique et pluridisciplinaire.

À ce jour, le consortium est constitué du laboratoire de Ploufragan-Plouzané-Niort de l'ANSES, du Centre d'Étude et de Recherches en Thermiques Environnement et Systèmes de l'Université Paris-Est Créteil (CERTES-UPEC), de l'Institut Pasteur de Paris (IPP) et de l'Institut Universitaire de Cardiologie et de Pneumologie de Québec de l'Université Laval (IUCPQ-UL). Ce groupement scientifique, composé d'acteurs en santé humaine et animale, interconnecte les disciplines de la physique des aérosols, l'aérobiologie, la virologie, l'expérimentation animale, l'épidémiologie et l'étude des pathogènes dans l'environnement. La complémentarité des partenaires permet l'étude phénoménologique aux différentes échelles de la survie des virus à la transmission aéroportée dans les environnements bâtis.

OQAI

Par nos activités quotidiennes, nous passons plus de 80 % de notre temps dans les bâtiments et l'environnement bâti. Au-delà des impacts sanitaires déjà identifiés, tels que ceux résultant de l'exposition aux composés organiques volatils, aux particules, au radon, aux moisissures et au rayonnement électromagnétique présents dans l'air intérieur, les pandémies, comme celle à laquelle nous avons été confrontés, interrogent sur le rôle essentiel de ces espaces. Synonymes d'abri et de protection contre les agressions extérieures, quel rôle jouent les bâtiments dans l'exposition et la transmission des aéropathogènes (virus, bactéries, moisissures...) présents dans l'air intérieur ? Et quels sont les moyens pour nous en prémunir ? Dans ce contexte, le CSTB accompagne les pouvoirs publics et les professionnels de la construction pour anticiper les situations à risque et garantir la qualité de vie dans les environnements intérieurs.

Prévention et surveillance

Missionné par les pouvoirs publics depuis 2001, l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI) est un dispositif national mis en place afin de mieux connaître les situations de pollution et d'inconfort et leurs origines à l'échelle du territoire. Un travail indispensable pour poser les bases des politiques publiques et apporter des solutions adaptées pour la prévention et la surveillance des environnements intérieurs, les professionnels, les relais d'opinion et le grand public. Depuis sa création, le CSTB est l'opérateur technique de l'Observatoire. Plus d'une centaine de chercheurs, de professionnels et de doctorants de disciplines

cinquantaine d'organismes français et étrangers, ont été et sont associés aux travaux dans le cadre de partenariats ou de groupes de travail destinés à planifier les études, les mettre en œuvre, puis à en exploiter et valoriser les données. Par ailleurs, des équipes techniques locales sont mobilisées pour le déploiement de campagnes nationales et d'études spécifiques. Elles sont réparties sur les différents sites d'enquête et formées à la collecte des données par le CSTB, qui assure la coordination des campagnes. Des laboratoires, en France comme à l'étranger, assurent également l'analyse des échantillons d'air et de poussières collectés.

Actions de recherche

Les campagnes nationales déjà menées par l'OQAI ont permis d'acquérir des connaissances sur l'exposition de la population à la pollution de l'air intérieur, ainsi que sur le niveau de confort des différents lieux de vie. En complément, des études spécifiques ont fait avancer la réflexion sur des questions prioritaires : pratiques d'aération et diversité microbienne dans les crèches et les écoles, émission des produits d'entretien et des fournitures scolaires... Ces travaux apportent des éléments nécessaires à la prévention et à l'amélioration de la qualité des environnements intérieurs et permettent le développement d'outils d'aide à la décision : modèles prédictifs de la pollution intérieure, indices de qualité d'air intérieur, dispositif de mesure du confinement de l'air intérieur, gestion de la ventilation, pilotage des équipements et/ou ouverture des fenêtres en fonction des taux d'occupation - largement déployé depuis la pandémie de Covid-19 – etc...

L'Observatoire sensibilise également les professionnels et informe le grand public pour faire évoluer les pratiques en faveur d'une meilleure qualité de vie (ateliers publics, formations, publications).

Perspectives

À partir de 2024, l'OQAI évoluera en un Observatoire de la qualité des environnements intérieurs (OQEI). Copiloté par l'Anses et le CSTB, ce nouveau dispositif continuera d'animer un réseau interdisciplinaire de partenaires scientifiques : médecine et santé publique (épidémiologie, toxicologie, pharmacie), environnement (physico-chimie, microbiologie, aéraulique), bâtiment (ventilation, matériaux, énergie), mathématique (statistiques) et sciences humaines (sociologie, psychologie de l'environnement). Cette évolution multi-échelles et multi-physiques des problématiques de santé environnementale, et pour partie engagée à travers l'OQAI, vise une approche résolument holistique des environnements intérieurs autour de l'ensemble des facteurs d'exposition spécifiques. L'OQEI travaillera donc sur des préoccupations liées à d'autres déterminants de la qualité des environnements intérieurs comme le confort thermique, l'impact des fortes chaleurs sur la santé et la perception des occupants. Les lieux de vie sont également soumis à d'autres expositions – bruit, lumière artificielle, champs électromagnétiques (CEM), etc. – déjà étudiées dans certaines campagnes, mais dont les données sont encore peu exploitées. Ainsi, le futur OQEI contribuera à l'étude de l'exposome intérieur des populations tel qu'inscrit dans les engagements politiques de santé publique.

ACTION LOGEMENT

Action Logement Groupe, acteur de référence du logement social et intermédiaire, et le CSTB, se sont engagés, en 2022, dans un partenariat de recherche en faveur de la performance environnementale du plus grand parc de logements sociaux en France.

Avec un patrimoine de plus d'un million de logements, Action Logement a pris des engagements ambitieux d'élaboration d'un cadre stratégique patrimonial (CSP). Celui-ci permet de modéliser des scénarios d'évolution, d'investissement ou d'arbitrage, en vue d'améliorer le pilotage stratégique des actifs immobiliers du groupe dans sa contribution à l'atténuation et l'adaptation au changement climatique.

Cette collaboration de recherche vise à rendre les plans stratégiques de patrimoine dynamiques pour mieux suivre leur parc immobilier au cours du temps. Les données existantes ou reconstituées sont centralisées et enrichies de manière à doter le groupe d'une vision patrimoniale à 360°. L'analyse et le croisement des données aux échelles du bâtiment, du patrimoine ou du territoire permettent de concevoir et de mettre en œuvre les solutions optimales, puis d'en mesurer les trajectoires de progrès relativement à l'atténuation et à l'adaptation aux changements climatiques, à la qualité d'usage et à la sobriété des logements.

Le futur CSP cible des cas d'usages inédits qui permettront à terme à Action Logement de projeter et de suivre en « temps réel » la trajectoire carbone du parc, notamment via la performance énergétique et la consommation d'eau des habitants en vue d'identifier et corriger les possibles dérives.

Cas d'usage N° 1 Maîtrise de la ressource en eau

Le dernier rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) rappelle l'ampleur de la tension sur la ressource en eau, y compris dans le scénario d'élévation de température le plus favorable.

L'objectif du partenariat de recherche est de suivre et d'analyser les consommations d'eau des ménages.

La méthode s'appuie sur l'étude de l'existant pour établir des profils de logements types et leur « signature » de consommation d'eau, celle-ci étant consolidée par le « monitoring » d'un échantillon représentatif de logements. Il s'agit alors de bâtir une architecture de base de données, spécifique à Action Logement, pour capitaliser ces données de consommation contextualisées et de croiser cette base de données privée avec d'autres bases de données publiques afin de mettre en place les solutions techniques, organisationnelles et de gestion des usages les plus adaptées.

Il s'agit *in fine* d'intégrer ces indications de consommation d'eau dans de la Base de Données Nationale du Bâtiment (BDNB)¹

**Cas d'usage N° 2
La décarbonation du parc**
Action Logement a engagé l'élaboration de sa feuille de route de réduction des émissions de gaz à effet de serre, conformément à la Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC) en travaillant sur l'intégralité de la chaîne de valeur du cycle de vie du bâtiment : conception, construction, rénovation, déconstruction, exploitation et usages.

À l'image de ce qui est proposé pour la ressource en eau, cette partie de la recherche vise à développer des outils de pilotage de la stratégie de décarbonation basés sur la collecte, la structuration, le croisement et l'analyse de données hétérogènes et multi-échelles. Il s'agit en premier lieu de convertir les données en comptabilité carbone, de les agréger à l'échelle du parc, de quantifier les leviers qui sont à la disposition du groupe Action Logement, puis de définir les trajectoires possibles, et enfin, de conduire et suivre la décarbonation.

¹ La BDNB est une cartographie du parc de bâtiments existant, construite par croisement géospatial d'une vingtaine de base de données issues d'organismes publics. Structurée à la maille « bâtiment », elle contient une carte d'identité pour chacun des 30 millions de bâtiments, résidentiels ou tertiaires. Elle a vocation à être mutualisée et à constituer un référentiel ouvert, socle de développement de multiples services portés par des acteurs publics et privés, mais aussi lieu de capitalisation des connaissances sur les bâtiments existants.

CHAIRE ECONOMIE DU CLIMAT

La CEC (Chaire Économie du Climat¹) a été lancée en octobre 2010, fondée sous l'égide de la Fondation Institut Europlace de Finance et de l'université Paris Dauphine-PSL, dont les travaux académiques et de vulgarisation sont centrés sur l'économie du changement climatique.

Cette chaire constitue une plateforme de recherche reconnue sur le plan académique et ouverte sur le monde de la décision économique et politique. Son programme de recherche, validé par un conseil scientifique de renommée internationale, porte sur l'analyse économique de l'ensemble des politiques publiques visant à permettre la réalisation de la transition carbone au sein des différents secteurs de l'économie. Elle cherche, par ailleurs, à former de jeunes chercheurs en accueillant des stagiaires, des doctorants et des postdoctorants venus d'horizons divers et constitue un lieu d'échanges important entre chercheurs et acteurs du monde professionnel.

Favoriser la rénovation énergétique

Dans ce cadre, le CSTB et la CEC collaborent depuis 2015 sur des problématiques d'évaluation des politiques publiques destinées à massifier les travaux de rénovation énergétique au sein du parc de bâtiments français. Formalisée par un partenariat, cette collaboration permet notamment d'engager chaque année une thèse ou un contrat postdoctorant commun, financé par le CSTB et effectué au sein des deux centres de recherche.

Par ailleurs, elle permet au CSTB de bénéficier :

- des capacités d'encadrement académique dans des travaux de recherche en lien avec la transition environnementale des bâtiments, permettant de renforcer le positionnement scientifique du CSTB ;
- de l'expertise des enseignants et chercheurs de la CEC qui offrent un appui scientifique sur les méthodes d'analyse économiques et économétriques les plus avancées, mobilisées alors par les équipes du CSTB dans le cadre de ses activités.

En contrepartie, le partenariat permet à la CEC d'accroître sa capacité à proposer des thèses portant sur l'économie de l'environnement appliquée au secteur du bâtiment, de bénéficier de l'expertise du CSTB sur les problématiques de transition énergétique et environnementale des bâtiments, et d'orienter ses travaux en fonction des questions concrètes posées par les acteurs du secteur, notamment les professionnels et les pouvoirs publics.

À ce jour, ce partenariat a permis la réalisation de cinq thèses sur l'évaluation des politiques publiques portant sur la massification des rénovations et sur les rôle et processus de diffusion des innovations au sein du secteur.

Ambition et perspectives

Nombre de travaux restent à mener sur les modalités de réalisation de la transition énergétique et environnementale du secteur du bâtiment. Les sujets suivants seront particulièrement investigués :

- l'évaluation des impacts des politiques publiques incitatives ;
- la structuration de la filière et la réduction des malfaçons ;
- le processus d'innovation, son appropriation et sa diffusion par la filière ;
- la modélisation prospective des trajectoires de décarbonation.

Par ailleurs, ce partenariat vise également à faciliter la formation et la montée en compétence de jeunes économistes sur les sujets d'économie de l'environnement associés aux bâtiments, notamment au travers des stages et des doctorats pouvant faciliter l'arrivée de nouveaux collaborateurs au sein du CSTB.

Il revêt une dimension stratégique pour le CSTB. Il permet à ses équipes de bénéficier d'appuis, d'échanges et de collaborations académiques et scientifiques dans le domaine de l'économie du changement climatique, indispensables à ses travaux. Il permet, en outre, une meilleure insertion dans les réseaux scientifiques et professionnels associés et facilite le recrutement de jeunes chercheurs en économie de l'environnement.

EFFICACITY

Depuis 2014, une dizaine de chercheurs du CSTB sont partiellement mis à disposition de l'Institut de Transition Énergétique Efficacity pour concourir à la construction d'outils communs, avec une ambition de diffuser au sein du monde opérationnel des outils de référence.

Efficacity, consacré à la transition énergétique et écologique des villes, a été créé en 2014. Associé dès l'origine à sa création, le CSTB en est membre fondateur. Il est présent au conseil d'administration et dans différents comités de pilotage associés aux programmes de R&D.

Sont rassemblés au sein d'Efficacity des centres de recherche, des grands groupes et des bureaux d'études. Efficacity mène de la recherche action en associant de manière étroite les bénéficiaires, les utilisateurs et les producteurs des outils qui ont pour objectif d'objectiver les choix de conception des opérations d'aménagement.

Simulation énergétique des quartiers

Le CSTB et Efficacity ont mis deux outils à la disposition des acteurs. Le premier, PowerDIS, s'appuie sur le moteur de calcul de simulation énergétique de la ville du CSTB, Dimosim. Logiciel qui propose une vision prospective de l'organisation d'un système énergétique (production, réseaux, consommation) en accord avec les ressources et contraintes d'un territoire, Dimosim est le fruit d'une dizaine d'années de R&D d'un projet dédié intitulé « quartier bas carbone », au sein des programmes de recherche du CSTB. Ensemble, Efficacity, ses partenaires et le CSTB ont conçu des interfaces et des enrichisseurs permettant à PowerDIS de réaliser des simulations énergétiques dynamiques des quartiers, de calculer les besoins des bâtiments et les consommations des différents moyens de production, y compris les réseaux de chaleur. PowerDIS donne la possibilité de comparer différentes variantes de production. Une thèse commune – « Développements méthodologiques pour la validation des outils de simulation énergétique urbaine » – aura permis de construire une approche générique s'assurant de la validité des résultats.

Évaluation des impacts environnementaux

Le second outil, UrbanPrint, est un logiciel d'évaluation des impacts environnementaux à l'échelle du quartier, basé sur l'analyse de cycle de vie d'un projet d'aménagement urbain en neuf, en rénovation ou mixte. Il permet de collecter des informations sur les bâtiments, mais aussi sur les espaces extérieurs, les réseaux, la gestion des déchets, les mobilités, etc.

En six ans, le CSTB et Efficacity ont construit une méthodologie partagée et ouverte, au travers d'un projet de recherche associé via une thèse commune¹, un projet ADEME élargissant les parties prenantes, un projet Efficacity avec ses partenaires, un cœur de calcul, une interface pensée avec les utilisateurs, une expérimentation sur une soixantaine d'opérations avant de diffuser le logiciel sous licence ou assurer des calculs pour des aménageurs en direct.

Pour chacun de ces projets, le CSTB coconstruit les méthodologies, met à disposition des chercheurs ou codéveloppe les cœurs de calcul, les bases de données, participe aux déploiements, aux formations et à la capitalisation des retours d'expérience, réalise des calculs en mode prestation ou accompagnement et co-diffuse les logiciels. L'enjeu de la mise à disposition de ces outils d'évaluation et de conception est partagé par Efficacity et la feuille de route « Bâtiments et villes face au changement climatique ».

1. Contribution au développement d'une méthodologie d'évaluation environnementale aux échelles urbaines

DÉMARCHE INTER-AMÉNAGEURS

Depuis près de dix ans, le CSTB accompagne différents aménageurs de métropole et d'outre-mer dans leur transition numérique, en phase de conception comme en suivi d'opération.

Plus récemment, quelques-uns de ces partenaires ont associé leurs efforts et engagé une démarche collective pour appréhender les enjeux liés à la mise en œuvre des politiques publiques relatives aux transitions environnementale et numérique. Ils ont identifié ensemble des solutions concrètes et réalistes pour en accélérer la déclinaison dans les opérations d'aménagement. Ce partenariat a notamment pour objectif de mutualiser les pratiques et les résultats des recherches antérieures pour les diffuser au plus grand nombre. Il s'agit également de détecter les innovations scientifiques et techniques clés, offertes par le numérique pour le métier d'aménageur, qui permettent de respecter les divers engagements, notamment ceux relatifs à la performance environnementale.

Garantir le

« bien vivre ensemble »

Ainsi, Euroméditerranée, Euratlantique, EPAMarne - EPAFrance, Grand Paris Aménagement, Paris La Défense, EPA Paris-Saclay, Espaces Ferroviaires et le CSTB ont constitué en juin 2022 un collectif qui contribue à la définition et à l'atteinte des objectifs relatifs à la sobriété énergétique, à l'impact carbone, à l'économie circulaire et à la résilience des aménagements urbains, tout en veillant à garantir le « bien vivre ensemble ». Au-delà de la constitution de groupes de travail et de l'organisation d'échanges de pratiques, la spécificité de la démarche réside dans le ciblage des innovations. Ceci permet d'anticiper les évolutions du métier d'aménageur avec une vision multi-enjeux (technique, économique, sociétale, etc.) et multicritère. Elle repose sur une approche technique et scientifique portant sur des sujets d'intérêt pour les aménageurs publics, et plus largement pour la filière. Elle encourage les partenaires à définir des actions de recherche et développement (R&D) mutualisables pour le développement, l'expérimentation et de déploiement pré-opérationnel ou opérationnel de méthodes et d'outils spécifiques.

Une volonté d'harmonisation et d'amélioration des pratiques

Ce collectif fonctionne via des ateliers et séminaires, destinés à échanger et à analyser les retours d'expérience en les confrontant à l'état de l'art, alimentés par une veille scientifique et technique, pour ensuite faire émerger des sujets de R&D communs. Parmi ceux déjà identifiés comme thématiques d'atelier et pour du partage de retours d'expérience, on peut citer :

- La gestion des données multiformats (BIM, CIM, SIG, DWG...) pour l'atteinte des objectifs de biodiversité, sobriété foncière, qualité des logements et de réduction de l'impact carbone des opérations d'aménagement ;
- La mise en place d'un dictionnaire commun couvrant les données aux différentes échelles d'intervention pour le suivi et le pilotage, le reporting et facilitant l'interopérabilité avec les différents outils ;
- La conduite du changement comme un enjeu clé pour l'appropriation par tous les intervenants et le déploiement réussi des démarches de gestion de données comme le CIM (City Information Management) ;
- Les outils de pilotage du projet et de visualisation pertinents et adaptés aux pratiques d'aménagement et aux nouvelles modalités de gestion des données.

Le rapprochement de ces acteurs majeurs de l'aménagement est le signal fort d'une volonté d'harmonisation et d'amélioration des pratiques, en vue de les diffuser et de les partager avec tous les professionnels de l'aménagement urbain.

LEMTA

Le CSTB et le LEMTA (Laboratoire Énergies & Mécanique Théorique et Appliquée) collaborent depuis 2016 autour d'actions de recherche relatives à la sécurité incendie des bâtiments. La genèse du partenariat est issue du besoin de compétences complémentaires des deux instituts. Le LEMTA apporte son expertise sur les modèles de dégradation au feu des matériaux, les modélisations en désenfumage et en propagation du feu, ainsi que sur les méthodes expérimentales (notamment en instrumentation avancée pour les essais). Par son expertise, le CSTB contribue à l'élaboration des approches théoriques et aux essais de validation en vue d'une utilisation par l'ingénierie, valorise les acquis scientifiques à travers l'élaboration de guides et alimente les évolutions réglementaires.

Une ambition commune

Les recherches réalisées ont pour objectif de compléter ou fiabiliser les méthodes performancielles de dimensionnement dans le cadre de l'Ingénierie de la Sécurité Incendie (ISI). Ces méthodes ciblent le développement du feu au sein d'un bâtiment ou le long d'une façade (en prenant en compte les conditions de ventilation ou la contribution des matériaux) ainsi que l'écoulement des fumées. Ces dernières années, la contribution au feu des matériaux biosourcés, notamment le bois, a fait l'objet de plusieurs études afin d'évaluer leur impact sur le développement du feu.

Les actions de recherche

Les actions communes s'articulent autour de quatre thématiques :

1. L'écoulement des fumées avec pour objectif de calculer, avec des méthodes simplifiées, l'évolution de la strate de fumée dans un local en fonction des conditions de ventilation. À la suite des travaux initiés dans le cadre d'une thèse basée sur des méthodes analytiques pour quantifier les phénomènes de remplissage-vidange dans un local avec un exutoire, un guide de désenfumage dans les établissements recevant du public a été finalisé, à destination des concepteurs et de l'ingénierie.

2. Le développement du feu en milieu confiné avec pour objectif de quantifier l'action thermique au sein d'un local dans lequel la combustion des gaz n'est pas complète faute d'oxygène. Ce phénomène est plus marqué avec la présence importante des matériaux combustibles (comme le bois). La combustion des gaz de pyrolyse s'effectue alors à l'extérieur (via une ouverture), renforçant ainsi la sollicitation thermique sur la façade. La description théorique de ces phénomènes via des simulations FDS & FireFoam, ainsi que des essais phénoménologiques à moyenne échelle, s'inscrivent pleinement dans le partenariat scientifique.

3. La contribution du bois à l'incendie a pour objectif de prévoir le développement de celui-ci en présence de surfaces en bois apparentes. Pour cela, les conditions d'inflammation/ extinction et contribution énergétique du bois ont été identifiées expérimentalement à l'échelle du matériau à travers une thèse et se poursuivent afin

de pouvoir utiliser ces données matériaux dans des méthodes d'ingénierie à court terme.

4. La propagation du feu le long des façades est étudiée à travers le projet ANR FIREWALL (2020). L'étude portée par le Centre d'énergétique et de thermique de Lyon (CETHIL), le LEMTA et le CSTB ambitionne de comprendre et de décrire par simulation les phénomènes aérodynamiques, thermiques et chimiques s'opérant sur les façades soumises à l'incendie (pyrolyse secondaire). Pour cela, des essais sont réalisés au CSTB à échelle réelle. Le LEMTA complète l'analyse sur la base de modélisations et simulations numériques, simulations permettant, entre autres, de valider le passage à des échelles expérimentales plus réduites, réalisées au CETHIL.

Conclusions et perspectives

Les travaux menés sur le désenfumage et la contribution au feu du bois ont permis d'accroître la capacité d'expertise du CSTB sur ces sujets complexes. La doctrine incendie émise par la BSPP (Brigade des sapeurs-pompiers de Paris) en 2021 a ravivé, en limitant l'emploi du bois, le besoin de caractérisation du risque pour accompagner la filière vis-à-vis de l'incendie. Les sujets à venir portent notamment sur la mise en sécurité des personnels de secours (après l'évacuation des occupants d'un bâtiment). Cette thématique fait appel à de nouveaux verrous scientifiques, tels que la compréhension des phénomènes d'incandescence pour évaluer la résistance résiduelle d'une structure dans les heures qui suivent l'incendie.

HILTI

Depuis 2018, Hilti et le CSTB collaborent sur les activités de recherche afin de faire évoluer les règles d'évaluation et de dimensionnement des produits de fixation dans le bâtiment.

Leader mondial dans le domaine des systèmes de fixation et ancrages pour le secteur de la construction, Hilti est un acteur majeur de l'innovation, plus particulièrement, ces dernières années, dans le domaine des collages structuraux.

La validation de la durabilité de la performance de ces solutions innovantes, en termes de sécurité des assemblages sous diverses sollicitations, notamment thermomécaniques, dans différentes conditions de mise en œuvre, est primordiale pour accéder au marché de la construction. L'assurabilité de ces nouveaux produits s'effectue alors grâce à des procédures d'évaluation spécifiques.

Comportement des produits de fixation en cas d'incendie

Ce partenariat de recherche a pour objectif de fournir le socle scientifique qui définit ces procédures d'évaluation et les méthodes de dimensionnement qui en découlent.

Établi en 2018, un accord-cadre entre Hilti et le CSTB officialise les relations partenariales pour apporter les éléments scientifiques permettant de construire la réglementation sur le thème de l'incendie, à disposition des acteurs internationaux.

Quatre thèses conjointes ont été lancées entre 2018 et 2021 sur :

- la tenue au feu des ancrages chimiques ;
- la tenue post-incendie des scellements d'armature ;
- la rupture béton sous gradient thermique par arrachement d'un cône ;
- la rupture béton sous gradient thermique par fendage.

Ces études basées sur les différents phénomènes physiques ont notamment conduit à développer des approches innovantes pour prévoir les modes de ruine, après en avoir identifié les causes, liées au comportement thermomécanique des éléments du système de fixation (tige en acier, béton, adhésif structural). Cela a permis de proposer des méthodes rationnelles pour la rédaction de guides de dimensionnement.

Cette activité de développement de codes, en aval de la recherche, est également intégrée au sein du partenariat et s'effectue en Europe et aux États-Unis dans les instances telles que : l'EOTA (European Organisation for Technical Assessment), la FIB (Fédération Internationale du Béton), la CAMA (Concrete Anchor Manufacturers Association) et l'ACI (American Concrete Institute). Depuis deux ans, plusieurs documents réglementaires (acceptance criteria, documents d'évaluation européenne, rapports techniques de dimensionnement, segments de codes de dimensionnement USA) ont été entérinés ou sont en cours de validation.

Une solide complémentarité

La recherche s'appuie sur l'expertise du CSTB et sur celle de l'université d'Orléans - qui assure la direction des thèses - ainsi que sur des essais, principalement réalisés par le CSTB. Hilti intervient de manière complémentaire pour alimenter les travaux, à travers ses connaissances des produits et des données scientifiques historiques, notamment celles relatives aux méthodes qui ont permis de rédiger la réglementation depuis les trente dernières années. L'activité de rédaction des codes est également soutenue par la connaissance des environnements réglementaires internationaux, complétée par Hilti, en particulier aux États-Unis, ainsi que par les bonnes pratiques d'élaboration des documents.

Perspectives

Le partenariat avec Hilti est structurant par la qualité des intervenants sur les plans scientifique et technique, par les connaissances réglementaires, et celle des parties prenantes en codification, ainsi que par les objectifs d'évolution réglementaires qui conditionnent les ambitions de recherche (sur des cycles d'environ trois ans). Grâce à cette collaboration, le CSTB a renforcé son positionnement extérieur, notamment aux États-Unis, lors des deux dernières années. Un chantier important s'ouvre actuellement pour adapter et transposer plusieurs méthodes européennes dans le contexte réglementaire américain sur l'ensemble des modes de ruine des chevilles chimiques au feu.

LA POLITIQUE DOCTORALE DU CSTB

La formation à la recherche est un facteur de ressourcement et de visibilité pour le CSTB. C'est pourquoi il développe aujourd'hui une politique active en faveur de la recherche doctorale. Il accueille en continu un volant de 50 à 60 doctorants, qui mènent une thèse en lien avec l'un des quatre domaines d'action stratégiques de la recherche.



LA POLITIQUE DOCTORALE

Afin de compléter sa mission de service public d'animation de la recherche dans le secteur du bâtiment, le CSTB mène depuis plusieurs années un programme doctoral ambitieux .

Assurer une relation privilégiée avec le monde académique auprès duquel il se ressource d'un point de vue scientifique, contribuer à l'ancrage des travaux académiques dans le secteur du bâtiment et former de futurs chercheurs et experts destinés à travailler auprès des acteurs, publics et privés, de la filière sont les principaux objectifs de ce programme doctoral.

Une politique doctorale active

La formation à la recherche est un facteur de ressourcement et de visibilité pour le CSTB. C'est pourquoi il développe aujourd'hui une politique active en faveur de la recherche doctorale. Il accueille en continu un volant de 50 à 60 doctorants, qui mènent une thèse en lien avec l'un des quatre domaines d'action stratégiques de la recherche. Ces jeunes chercheurs jouent un rôle fondamental pour le ressourcement scientifique amont du CSTB et la mise à jour des connaissances scientifiques mobilisées par sa recherche appliquée. Ils contribuent d'ailleurs à plus de 20 % des publications scientifiques, issues des travaux de recherche de l'établissement. Les doctorants sont aussi fortement impliqués dans les projets de recherche que le CSTB conduit, seul ou en partenariat avec les industriels, et sont à ce titre des moteurs dans sa capacité à innover.

Accords-cadres pluriannuels

Pour contribuer à entretenir un « vivier » de recrutement des futurs doctorants et renforcer ses liens avec certains laboratoires académiques, le CSTB conclut des accords-cadres pluriannuels, fondés sur des sujets de recherche, codéfinis avec le laboratoire et en lien avec ses priorités scientifiques. Ces accords incluent l'engagement du laboratoire à lancer plusieurs thèses coencadrées sur la période couverte, ce dernier recevant mandat, en cas de dépôt de brevet consécutif aux travaux de thèse, pour gérer la copropriété et la valorisation au mieux des intérêts des deux parties

Chaque thèse fait l'objet d'une collaboration avec deux partenaires : le laboratoire académique avec lequel le CSTB coencadre le doctorant ainsi que l'organisme (université ou école) dans lequel il suit sa scolarité. Un certain nombre d'accords signés avec les laboratoires académiques le sont ainsi dans le cadre d'un accord avec l'université. D'autres partenaires (organismes de recherche publics ou acteurs privés précédemment cités) sont également associés à certaines thèses.

Le CSTB entretient des relations privilégiées, formalisées par ces accords-cadres, avec plus d'une vingtaine de laboratoires académiques, dont les principaux sont affiliés à l'université Gustave-Eiffel, l'université de La Rochelle, l'université et l'école des Mines de Nantes, l'université de Lyon et l'université Paris-Dauphine – PSL.

Ces liens lui permettent d'être visible dans la communauté académique, mais aussi de crédibiliser et diffuser les résultats de ses recherches scientifiques.

Le taux d'emploi des jeunes docteurs en sciences de l'ingénieur du CSTB, un an après la soutenance de leur thèse, est de 100 %. Ces chiffres, en augmentation ces dernières années, sont supérieurs au taux national (86 % toutes disciplines confondues, 91 % en sciences de l'ingénieur).

Cette politique d'embauche de jeunes doctorants au CSTB a toujours été essentielle, puisqu'elle constitue une modalité privilégiée de ressourcement scientifique amont. De plus, c'est un levier efficace de développement pour des partenariats scientifiques entre les milieux académique et industriel.

LA PAROLE DES DOCTORANTS



MIORA ROBSON, 28 ans

Université d'Orléans

Thèse : Résistance du béton des ancrages chimiques sous sollicitation thermomécanique (3^e année)

Le cadre pluridisciplinaire et les équipements de pointe du CSTB sont un réel atout.



GABRIEL ROSSIGNOL, 25 ans

Institut Mines-Télécom de Lille

Thèse : Impact de la présence de libérateurs de formaldéhyde dans la formulation des produits ménagers sur la qualité de l'air des environnements intérieurs (2^e année)

Ma thèse est cofinancée par le CSTB et l'ADEME. Je suis plus habitué aux manipulations en laboratoire et, par conséquent, mon intégration à la direction Santé Confort du CSTB est très enrichissante sur le plan de la recherche pure, et particulièrement sur la transmission et le partage des résultats.



MARTIN RIT, 27 ans

École des Mines de Saint-Étienne

Thèse : Évaluation du potentiel de rénovation énergétique d'un territoire dans le cadre de démarches de massification (1^{re} année)

Dans le domaine du bâtiment et de la rénovation, le CSTB reste l'une des références en France. En termes d'encadrement, il me donne notamment la possibilité de m'enrichir avec les autres projets liés à la thématique de ma thèse.



NADA BENDAHMANE, 26 ans

École des Mines de Saint-Étienne

Thèse : Développement d'indicateurs de pression sur les ressources minérales et métalliques pour une approche performancielle de l'économie circulaire (3^e année)

J'ai effectué un stage au CSTB Grenoble pour réaliser des données environnementales par défaut des produits de construction et équipements du bâtiment afin de préparer la RE2020. Éloignées du domaine de la recherche, les discussions avec les autres doctorants et l'accompagnement de l'équipe Environnement du CSTB pendant ce stage m'ont donné envie de poursuivre dans cette voie. Faire une thèse au CSTB permet d'être rapidement confrontée au terrain et d'être constamment en lien avec les besoins concrets des acteurs.



MERVEIL MUANDA LUTETE, 29 ans

Nantes Université

Thèse : Évaluation des mesures d'adaptation de l'environnement urbain aux contraintes du réchauffement climatique (2^e année)

Proposée par le CSTB, ma thèse a suscité l'intérêt de l'entreprise Ingérop. Dans le cadre de cette thèse CIFRE, dispositif qui encadre une collaboration entre une entreprise publique et un laboratoire de recherche, mes travaux ont pour objectif de faire avancer la recherche en lien direct avec les problématiques de l'entreprise sur les questions d'adaptation au changement climatique dans les projets d'aménagement urbain.



CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Que dire de plus, après cette revue assez exhaustive des problématiques concernant le bâtiment dans son environnement urbain, n'abordant cependant qu'un nombre limité des sujets de recherche qui y sont associés, dans une équation de moyens quelque peu contrainte ?

Tout d'abord qu'elle s'appuie sur différents constats et études issus de collégialités élargies souvent thématiques ou disciplinaires, trop peut-être, partagés au niveau national et international, dont le CSTB a été, et est toujours, partie prenante de longue date.

Qu'elle tienne néanmoins compte, à travers sa perception et son approche systémique, des spécificités de la construction en France, pour ne pas dire de ses complexités. Notamment au regard des enjeux associés à la rénovation du parc qui sera l'un des chantiers majeurs de ce siècle, et assurément celui de l'Europe. Et, plus important encore, qu'elle intègre ce mode de vie si particulier que l'on veut bien appeler le « french art de vivre », individualiste et collectif à la fois. Avec ses aspirations, ses exigences, et les contraintes qui s'y rattachent.

Si le bâtiment en est un reflet, c'est à l'échelle du quartier, de la ville et de l'aménagement que cet art de vivre s'exprime, avec plus ou moins de réussite, pour ne pas dire de bonheur. Ainsi, l'ensemble de cette refondation de la recherche du CSTB tend-il vers la réalisation de l'ambition affichée : des bâtiments et des quartiers pour bien vivre ensemble.

Cependant, vous noterez que certaines grandes évolutions, comme celle liée à la mobilité [future], exemple, à la donnée, aux comportements au sens large, ne sont pas précisément identifiées. Alors qu'elles sont en termes d'usages quotidiens « connectées » au bâtiment et à son environnement, l'impactant fortement, très souvent sur les problématiques de sécurité, et sur les compromis bénéfiques – risques. Ces sujets sont évidemment abordés avec les spécialistes de ces domaines respectifs.

Ce dernier point met en relief l'approche qui prévaut dans la démarche recherche du CSTB, basée sur la vision systémique des différentes problématiques du bâtiment dans son environnement, à la fois multi-échelles et pluridisciplinaires : celle des partenariats.

« Partenariat » est déjà le maître-mot pour assurer, au moins sur les sujets prioritaires et majeurs, que la communauté des acteurs, qu'ils soient scientifiques, professionnels, usagers ou citoyens, échange, débattent et, *in fine*, contribue à l'avancement des recherches dans les différents domaines identifiés.

Cette nouvelle organisation de la recherche aspire à accroître plus encore cette approche collective, sans pour autant céder aux effets de mode peu compatibles avec la temporalité d'action du secteur. La sociologie des organisations nous y aidera pour atteindre cet objectif commun : accompagner les acteurs dans leur démarche respective de solutions pour la construction, en cohérence avec les différentes thématiques et composantes multi-échelles, tout en conservant le caractère innovant qui leur est propre. C'est, *in fine*, le moteur de l'activité et de la croissance économique.

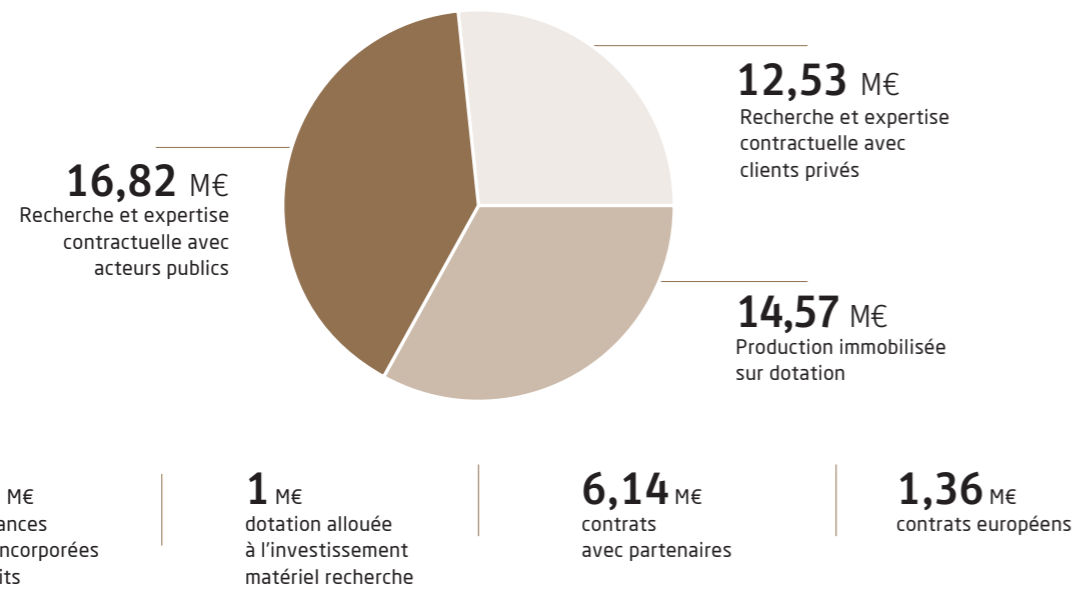
Last but not least, au-delà des sujets scientifiques et de l'accompagnement socio-éco-technique des projets opérationnels à l'échelle de leur cycle de vie, c'est-à-dire en intégrant leur caractère évolutif, le CSTB s'est engagé dans une démarche de capitalisation des connaissances. Ceci permettra, avec l'appui des outils numériques, une montée en compétence collective, nécessaire à la réalisation des ambitions affichées.

En conclusion, le bâtiment doit radicalement changer pour entrer dans le XXI^e siècle. Rejoignez-nous !

CHIFFRES CLÉS

TOTAL RECHERCHE ET EXPERTISE

43,92 M€



/74/

MOYENS ET OUTILS

58 doctorants	217 chercheurs	100 Projet cofinancés	1 200 bancs d'essais
-------------------------	--------------------------	---------------------------------	--------------------------------

RÉSULTATS

4
domaines d'action
stratégiques incluant
18 projets

+80
publications
référéncées

4
brevets
prioritaires
déposés

Directeur de la publication Étienne Crépon

Directrice de la rédaction Florence Ferry

Rédaction Hervé Charrue, Jérémy El Beze, Séverine Kirchner, Alexandra Lebert, Isabelle Marcelly, Romain Mège, Sophie Moreau, Nicolas Pinoteau, Enric Robine, Nelson Rodrigues, Driss Samri.

Coordination Virginie Proteau

Conception Agence **CIMAYA**.

Crédits photos hemis.fr/Mattes René, Leclercq Olivier, Jacques Pierre, Hughes Hervé, Guiziou Franck, @Cyrus Cornut, @Nicolas Richez, @Stockbusters

WWW.CSTB.FR



CSTB

LE FUTUR EN CONSTRUCTION

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT
84, avenue Jean-Jaurès – Champs-sur-Marne – 77447 Marne-la-Vallée Cedex 2
+33 (0)1 64 68 82 82 – www.cstb.fr
MARNE-LA-VALLÉE/GRENOBLE/NANTES/SOPHIA ANTIPOLIS