# CONTACT

// TOUTE L'ACTUALITÉ DE LA RECHERCHE DU CSTB

La lettre trimestrielle du CSTB dédiée aux grands enjeux du secteur de la construction et de l'aménagement, dans une approche globale et pluridisciplinaire.

CSTB
LE FUTUR EN CONSTRUCTION

N°6 // JANVIER 2024

// QUALITÉ DES ENVIRONNEMENTS INTÉRIEURS

# COMMENT PRÉSERVER LA SANTÉ DES OCCUPANTS DES BÂTIMENTS ET OPTIMISER LEUR CONFORT ?

**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

**Les sujets de l'environnement intérieur et de la qualité de celui-ci ne sont pas nouveaux. Le bon sens, que l'on qualifierait aujourd'hui d'approche hygiéniste, a fait que, depuis des siècles, ils ont été abordés par les différentes sociétés et ont directement et indirectement contribué à façonner l'architecture des bâtiments tant extérieure qu'intérieure, dans une réponse objective aux enjeux sensoriels.**

# SOMMAIRE


**ENJEUX** 4

par Hervé Charrue, directeur général adjoint en charge de la recherche et du développement

**FOCUS** 5

par Sophie Moreau, directrice du Domaine d'Action Stratégique Recherche « Bâtiments et quartiers pour bien vivre ensemble »

**À LA UNE** 6-7

MATHIS-QEI : un cœur de calcul interopérable

**PROJET DE RECHERCHE** 8

Comportements vibratoires et acoustiques des bâtiments en bois

**PROJET DE RECHERCHE** 9

Indices de Qualité des Environnements Intérieurs

**ACTUALITÉS RECHERCHE** 10

**QUOI DE NEUF DOCTORANT(E) ?** 11

**LES COULISSES DE LA RECHERCHE** 11

# ENJEUX

**Par Hervé Charrue,**
directeur général adjoint
en charge de la recherche
et du développement

Le bâtiment est essentiel à notre vie quotidienne. Il est donc au cœur des enjeux sociétaux. Cependant, la complexité de ses usages et de ses interactions aux différentes échelles – du bâtiment à l'urbain –, qu'elles soient socioéconomiques ou techniques, reste difficile à appréhender dans sa globalité.

La lettre CONTACT a justement pour objectif d'éclairer la compréhension de celle-ci et des problématiques scientifiques associées, afin de rendre plus accessibles à tout un chacun les questions posées à la recherche et les résultats qu'elle apporte au secteur du bâtiment et de l'urbain.

L'articulation de la recherche du CSTB autour de quatre domaines d'action stratégiques participe de cette pédagogie, en déclinant à la fois, 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 » et des moyens, « Économie circulaire et ressources pour le bâtiment ». Tout en imageant les grandes questions de société, elle positionne le rôle qu'y joue le CSTB, tant par ses activités de recherche que celles d'évaluation des produits et solutions, pour objectiver et accompagner l'action publique ainsi que celles des acteurs socioéconomiques.

Les sujets de l'environnement intérieur et de la qualité de celui-ci ne sont pas nouveaux. Le bon sens, que l'on qualifierait aujourd'hui d'approche hygiéniste, a fait que, depuis des siècles, ils ont été abordés par les différentes sociétés et ont directement et indirectement contribué à façonner l'architecture des bâtiments tant extérieure qu'intérieure, dans une réponse objective aux enjeux sensoriels.

Ainsi, la température a-t-elle été le premier sujet de préoccupation associé à la survie. Renforcé par la nécessité de se protéger des agressions extérieures, qui a conduit au clos couvert. La lumière, longtemps contrainte par les aspects de sécurité et d'intrusion, ainsi que par les enjeux techniques, s'est de ce fait imposée assez tardivement comme un art de vivre dans notre acception moderne du confort. En revanche, l'acoustique, elle aussi longtemps associée à la sécurité, n'a réellement été intégrée dans les perspectives qu'à partir de la révolution industrielle et à l'urbanisation de la fin du 19$^{eme}$ début du 20$^{eme}$, tout en restant aujourd'hui, comme les autres composantes de l'environnement intérieur, un marqueur social indéniable.

La prise en compte des enjeux sanitaires, tant du développement fongique, de l'humidité, des particules, que du renouvellement de l'air intérieur, n'est pas récente. Associée aux épidémies et à la transmission possible des maladies infectieuses, elle est aujourd'hui exacerbée par l'exposition à différents agents biologiques, aux composés organovolatils et semi volatils, ou aux particules, issus des matériaux et composants du bâtiment ou associés à son usage et son environnement extérieur, qui impactent la santé humaine.

Sans être exhaustif, en considérant non plus les effets relatifs de chaque exposition, mais en les abordant de manière couplée, on voit ainsi que la complexité de l'environnement intérieur est réelle. De surcroît, son appréhension est en évolution constante. De par les avancées scientifiques sur les caractérisations des effets aux différentes expositions, auxquelles se rajoutent aujourd'hui, par exemple, la prise en compte de nouvelles composantes comme le rayonnement électromagnétique, mais aussi de nouveaux composés chimiques, dans un cocktail inédit.

C'est ce que ce numéro de la lettre CONTACT vous propose de mieux appréhender, tout en vous éclairant sur des approches innovantes (indicateurs, modèles et solutions de caractérisation multicritères), qui commencent à matérialiser les liens entre ces différentes pollutions, et permettent d'ores et déjà des réponses robustes scientifiquement aux problématiques de la Qualité des Environnements Intérieurs (QEI).

# FOCUS

**Par Sophie Moreau,**
directrice de Domaine d'Action Stratégique Recherche

**Les agents chimiques et biologiques présents dans l'air, le bruit, les vibrations, l'environnement hygrothermique, la lumière et, plus largement, les rayonnements électromagnétiques, constituent un ensemble de facteurs déterminants pour le confort et la santé des occupants. Pour répondre correctement à ces enjeux sanitaires et de bien-être, il est nécessaire d'appréhender de manière globale l'ensemble de ces paramètres constitutifs de la Qualité des Environnements Intérieurs (QEI).**

Le programme de recherche « QEI » mené par le CSTB comporte deux ambitions majeures : apporter de nouvelles connaissances, dont une part pourra fonder le socle de futurs référentiels de qualité ou de réglementation, et développer des indicateurs, des méthodes et des outils transférables aux acteurs de la construction pour les aider dans la conception, la réalisation et l'exploitation d'espaces intérieurs de qualité. Notre démarche, qui se construit autour de la mesure, de la modélisation, de la structuration de données et de la construction d'indicateurs, s'appuie sur des approches pluridisciplinaires et place résolument l'humain au cœur de la réflexion.

Le programme QEI poursuit l'approfondissement des connaissances thématiques et investigue le « cocktail intérieur » que constituent les différents paramètres physicochimiques et physiologiques, via une démarche systémique qui place l'occupant au centre de l'analyse. Aucun capteur d'ambiance n'est plus sensible qu'un humain doté d'une multitude de capteurs sensoriels et d'une extraordinaire capacité d'adaptation et de régulation dynamique. C'est donc par des approches couplées de mesures physiques, physiologiques et d'analyses sensorielles que nous appréhendons la complexité des environnements intérieurs pour affiner les outils de modélisation et rendre les indicateurs plus explicites et efficients. Pour une application opérationnelle, nous travaillons à les rendre plus accessibles en visant la définition d'indicateurs agrégés.

L'acquisition des données d'environnement intérieur et leur capitalisation en bases de données structurées sont essentielles à l'enrichissement de la connaissance des états existants et permettent d'évaluer leur évolution au cours du temps. Forts de l'expérience de plus de vingt ans d'observation via l'OQAI*, et convaincus de l'importance de l'ensemble des paramètres des environnements intérieurs comme déterminants pour le confort et la santé, l'ANSES et le CSTB travaillent à la demande de l'Etat à la mise en place d'un futur Observatoire de la Qualité des Environnements Intérieurs (OQEI). Le croisement de données à différentes échelles - bâtimentaires (OQAI/OQEI, Base de données nationale des bâtiments…), urbaines ou territoriales – permet, en outre, de mieux comprendre et modéliser l'interaction des environnements extérieurs et intérieurs. Enfin, le couplage de ces bases de données à des mesures en temps réel et des modèles déterministes ou probabilistes ouvre à de nouvelles applications et services pour une meilleure gestion des bâtiments.

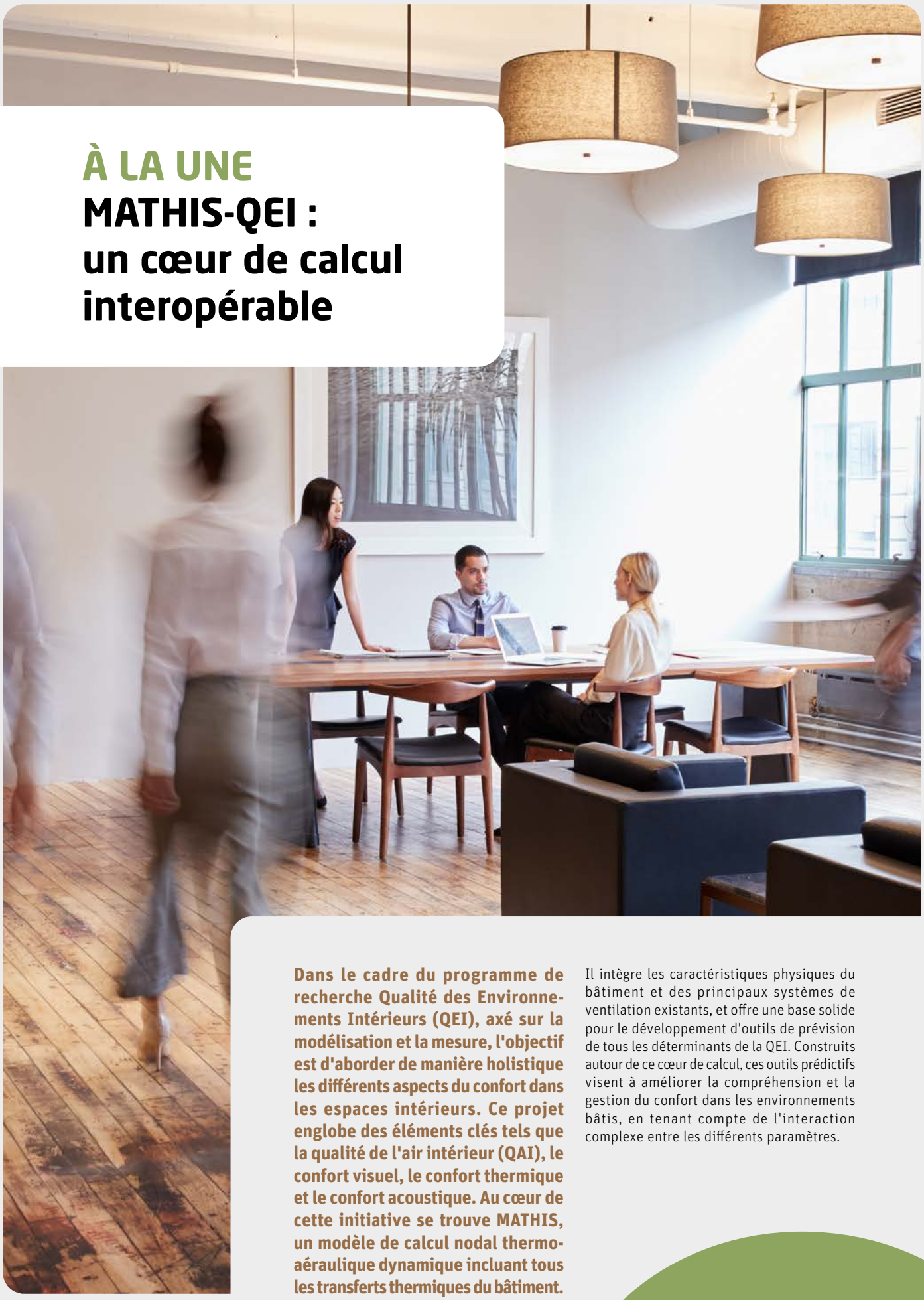
> « Notre démarche, […] s'appuie sur des approches pluridisciplinaires et place résolument l'humain au cœur de la réflexion. »

Appui scientifique et technique de CAP 2030, Groupement d'intérêt écologique, le CSTB contribue, par ailleurs, aux côtés des professionnels de la filière, à faire émerger un cadre commun de référence qui pourrait élargir l'actuel champ réglementaire de la RE2020 à d'autres aspects environnementaux. Il copilote notamment, avec l'Alliance HQE-GBC, le groupe de travail n°4 sur la qualité de l'environnement intérieur qui profite ainsi des apports de la recherche. Il valorise notamment les acquis de l'OQAI ou de programmes de recherche précédents, tels que QUARTET, projet du programme PROFEEL** qui développe une méthode simplifiée de mesure de QEI, ou ALDREN-TAIL, projet européen financé dans le cadre du programme Horizon 2020 qui pose les bases d'indicateurs de confort agrégés.

Le programme QEI optimise et assemble différents codes de calcul, en vue de la création d'une plateforme logicielle interopérable autour du cœur MATHIS. Cet outil (open source) de simulation thermo-aéraulique connecte des modules de qualité de l'air intérieur, d'acoustique, d'éclairage, et vient s'articuler avec un modèle neurophysiologique de confort thermique.

Les données, l'amélioration des modèles et l'approche pluridisciplinaire sont autant de bases solides pour encourager des rapprochements avec la recherche médicale pour mieux appréhender les enjeux de santé associés au cadre bâti. À ce titre, le CSTB engage des collaborations avec l'INSERM et Santé Publique France pour étudier cette thématique dans un contexte de changement climatique qui modifie drastiquement les expositions.

(*) OQAI Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur https://www.oqai.fr/fr
(**) Le programme PROFEEL, financé dans le cadre du dispositif des certificats d'économie d'énergie (CEE), est mené depuis 2018 par 16 organisations professionnelles du bâtiment, pour contribuer collectivement à l'accélération et la fiabilisation des rénovations énergétiques. Les programmes PROFEEL 1 et 2 dénombrent 17 projets qui produisent une collection d'outils pour l'amélioration des pratiques professionnelles sur le marché de la rénovation énergétique, et le déclenchement d'opérations performantes. L'AQC en assure la coordination globale et le secrétariat.



## À LA UNE

# MATHIS-QEI : un cœur de calcul interopérable

**Dans le cadre du programme de recherche Qualité des Environnements Intérieurs (QEI), axé sur la modélisation et la mesure, l'objectif est d'aborder de manière holistique les différents aspects du confort dans les espaces intérieurs. Ce projet englobe des éléments clés tels que la qualité de l'air intérieur (QAI), le confort visuel, le confort thermique et le confort acoustique. Au cœur de cette initiative se trouve MATHIS, un modèle de calcul nodal thermo-aéraulique dynamique incluant tous les transferts thermiques du bâtiment.**

Il intègre les caractéristiques physiques du bâtiment et des principaux systèmes de ventilation existants, et offre une base solide pour le développement d'outils de prévision de tous les déterminants de la QEI. Construits autour de ce cœur de calcul, ces outils prédictifs visent à améliorer la compréhension et la gestion du confort dans les environnements bâtis, en tenant compte de l'interaction complexe entre les différents paramètres.

# L'INTERVIEW EXPRESS

Entretien avec **Thierno Diallo**, PhD., ingénieur recherche et expertise à la direction Santé-Confort, et **Fabrice De Oliveira**, PhD., ingénieur recherche et expertise à la direction Climatologie, Aérodynamique et Aéraulique pour les Ouvrages et les Transports.

## Dans quel contexte MATHIS a-t-il été conçu ?

**F. D. O.** Il a été développé par le CSTB à un moment où la compréhension précise de l'aéraulique et des échanges thermiques dans les bâtiments était cruciale, notamment pour des applications comme la sécurité incendie. Dès 2010, François Demouge, PhD., ingénieur recherche et expertise au CSTB, et concepteur de MATHIS, est parti des problématiques de désenfumage lors de l'incendie d'un bâtiment pour s'orienter vers les enjeux de la ventilation. Fédérant de nombreux experts, le développement de MATHIS s'est ainsi inscrit dans une approche où différents outils et compétences ont été intégrés dans une plateforme modulaire permettant ainsi une synergie entre les diverses expertises du CSTB. En 2022, une réflexion a été menée pour améliorer la cohérence et l'efficacité globales de cette plateforme, en assurant une meilleure interaction entre les modules. Elle fonctionne en effet comme une « constellation » où chaque « étoile » représente un module ou une brique de connaissance, contribuant à la fois à la communauté scientifique et à l'expertise en ingénierie acoustique, du confort thermique, du confort visuel, de l'éclairage et de la QAI.
Les travaux menés par François Demouge et Xavier Faure, PhD., ingénieur recherche et expertise au CSTB, ont ensuite validé l'utilisation de MATHIS pour la conception de systèmes de ventilation naturelle. Il a également fait l'objet d'évaluations de ces performances, notamment celle du BESTest (Building Energy Simulation Test), pour l'évaluation des programmes de simulation thermique des bâtiments, à l'initiative de l'Agence Internationale de l'Énergie.
Dans un esprit d'ouverture et d'amélioration continue des connaissances, le code a été rendu accessible à la communauté scientifique et technique en format open source. Pour cette partie, une bibliothèque de fonctions interactives "PyMATHIS" a été développée pour faciliter les échanges avec le langage de programmation « Python » à chaque étape temporelle. Cette intégration permet une plus grande flexibilité et une meilleure accessibilité pour les utilisateurs, notamment ceux familiarisés avec « Python », en leur donnant la capacité de manipuler et d'analyser les données résultantes plus efficacement.

> « Nous projetons d'étendre tous les aspects de QEI à l'échelle du parc, en plaçant l'humain au cœur de notre réflexion. »

## Comment MATHIS s'intègre-t-il dans le paysage de la QEI ?

**T. D.** Sa conception lui confère une position centrale dans la prévision de la QEI. En effet, il permet de décrire l'aéraulique et les transferts thermiques (convection/rayonnement) au sein d'une pièce de manière robuste. Ceux-ci représentent des paramètres d'influence significatifs pour divers aspects de la QEI, tels que la QAI et le confort thermique. Le mouvement d'air dans les composants de ventilation peut également influencer le confort acoustique lié aux systèmes de ventilation et de climatisation. Actuellement, notre plateforme QEI intègre plusieurs aspects du confort, notamment via MATHIS-QAI, MATHIS-ACOU, MATHIS-NHTM (modèle neuro thermo physiologique) et MATHIS-PHANIE (modélisation éclairement et rayonnement). La plateforme capitalise la capacité d'expérimentation du CSTB, ce qui contribue grandement à la consolidation de ces outils, validés par diverses expériences à différentes échelles, du laboratoire à l'in situ.
Par ailleurs, la connexion avec la Base de données nationale des bâtiments (BDNB), développée par le CSTB, représente une réelle opportunité pour réaliser des prévisions à l'échelle du parc. Par exemple, nous avons pu étudier l'impact du changement climatique sur la qualité de l'air intérieur à l'échelle du parc de bâtiments en Île-de-France, dans le cadre du projet BATENQUE, en partenariat avec l'ADEME. Toujours dans cette même logique, une extension de MATHIS pour la micro-climatologie urbaine est en cours de développement avec le couplage aux outils OPENFOAM (code open source Computational Fluid Dynamic) et PHANIE (rayonnement extérieur).

## Quelles sont les prochaines étapes pour établir une interopérabilité complète de MATHIS-QEI ?

Nous projetons d'étendre tous les aspects de QEI à l'échelle du parc, en plaçant l'humain au cœur de notre réflexion. Ceci suppose d'établir un lien entre la QEI et la santé des occupants dans les bâtiments, en tenant compte des comportements individuels et des composantes sociaux-économiques associées. Le développement de notre plateforme QEI s'harmonise avec le projet de prospective économique du CSTB, visant à quantifier les impacts économiques de toutes les dimensions du confort. Cette approche systémique et holistique, qui englobe les aspects physiques, socio-économiques et comportementaux, constitue la force de notre plateforme QEI. De plus, nous suivons de près l'évolution de l'intelligence artificielle afin de l'exploiter pour améliorer nos outils de prévision.

# PROJET DE RECHERCHE CONSTRUCTIONS BOIS

## Comportements vibratoires et acoustiques des batiments en bois

**Catherine Guigou,** PhD., ingénieure recherche et expertise à la direction Santé-Confort

et **Manuel Manthey,** PhD., ingénieur expertise structures à la direction Sécurité, Structures, Feu

### En quoi le comportement du bois est-il spécifique sur les plans acoustique et vibratoire ?

**C. G.** Les bruits se propagent aisément dans l'air et dans tous types de matériaux par mise en vibration de ceux-ci. Quels que soient les modes constructifs, les bruits peuvent ainsi se transmettre dans les éléments structurels (poteaux, poutres, planchers, voiles). La construction bois présente des difficultés particulières du point de vue acoustique et vibratoire. La structuration fibreuse des éléments en bois induit en effet une conduction efficace des vibrations issues des chocs et confère aux structures une souplesse qui peut affecter le confort de marche. L'atténuation de ces effets suppose un dimensionnement en conséquence avec, notamment, des épaisseurs de plancher assez importantes. Une méthodologie a été développée afin d'améliorer la performance acoustique aux bruits aériens, dont les moyennes et hautes fréquences génèrent de l'inconfort pour les occupants. Cette méthodologie a été appliquée aux solutions poteaux-poutres en bois apparent. Par ailleurs, le ressenti, exprimé à travers des enquêtes menées sur l'occupation des bâtiments en bois (projet AcouBois), a permis d'identifier que la réglementation était insuffisamment exigeante au regard de la gêne induite par les bruits de choc, notamment pour les basses fréquences. Aussi, les solutions acoustiques proposées pour les bâtiments en bois doivent-elles prendre en compte ces contraintes dans un souci de confort en exploitation compatible avec les attentes des usagers.

### Quelles sont les différentes méthodes de prévision conçues par le CSTB ?

Dès le début des années 2000, le CSTB a travaillé sur les performances acoustiques des constructions légères en bois. Le projet français Acoubois (2009-2014), mené en collaboration avec FCBA et Qualitel, a permis de franchir un grand pas en proposant une méthodologie d'évaluation de la performance acoustique et vibratoire du bâtiment, intégrée dans les normes EN ISO 12354-1 et -2 en 2017. Pour l'évaluation des transmissions latérales, les caractérisations des jonctions effectuées par le CSTB ont servi de base à la proposition d'une classification aujourd'hui reconnue. Les travaux de thèse de Corentin Coguenanff (2014-2016) sur la « Conception robuste aux incertitudes des systèmes légers bois en vibro-acoustique linéaire » ont permis la mise au point d'un logiciel de prévision pour les parois sur ossatures complétant l'outil commercialisé AcouSYS. Plus récemment, le CSTB a mené des travaux sur les bâtiments en panneaux CLT (Cross Laminated Timber), notamment dans le cadre d'Adivbois. Ces recherches ont proposé des mesures en laboratoire sur diverses configurations de plancher et sur un bâtiment démonstrateur construit sur le site du FCBA. Le CSTB a effectué la caractérisation des jonctions et les prévisions de performance incluant la comparaison avec les mesurages réalisés.

### À l'échelle du bâtiment, mais aussi du produit (plancher notamment), les vibrations causées par le vent ainsi que par les trafics ferroviaire et routier peuvent être source d'inconfort pour les usagers. Quels travaux ont été initiés pour répondre à cette problématique ?

**M.M.** Il y a quelques années, le CSTB et la RATP ont mis en évidence les contributions multidirectionnelles des vibrations ferroviaires dans le cadre d'un projet de recherche. Le besoin de modéliser la transmission des vibrations dans des structures poteaux-poutres, en bois pour le CSTB et de type haussmannien pour la RATP, a conduit à un partenariat scientifique associant l'université de Compiègne. Les premiers travaux sont basés sur une approche hydride (éléments finis 3D pour les jonctions et analytique pour les poteaux et poutres) dans laquelle la présence des parois (planchers et refends) est prise en compte, afin de caractériser plus particulièrement le couplage sol-structure pour une excitation ferroviaire multidirectionnelle. L'intégration de dispositifs de remédiation pour limiter la propagation des vibrations au niveau du bâtiment sera simulée, en vue d'apporter des solutions opérationnelles de réduction des nuisances dans la perspective du développement des Systèmes Express Régionaux Métropolitains. Par ailleurs, le comportement dynamique des constructions bois de grande hauteur sous sollicitations vibratoires et/ou aérodynamiques reste un sujet mal caractérisé. Plus légères que leurs alter-ego en béton, leur ratio poids-rigidité est, pour des hauteurs comparables, plus défavorable que les constructions béton ou métalliques et peut entraîner, sous certaines conditions de vent, des oscillations basses fréquences gênantes pour les occupants (syndrome de mal de mer). Un programme de recherche européen, DynaTTB (Dynamic Response of Tall Timber Buildings under Service Load), a été mené entre 2019 et 2023 avec plusieurs partenaires académiques et industriels pour mieux comprendre la réponse dynamique des constructions bois de grande hauteur. Dans ce cadre, neuf bâtiments ont fait l'objet de mesures in situ avec, pour partie d'entre eux, l'utilisation de masse en tête allant jusqu'à 500 kg, permettant de les solliciter de manière contrôlée, et de mesurer, via des capteurs, les déplacements induits. Ces essais, couplés à des modélisations numériques paramétriques, permettent de mieux appréhender les facteurs clés pilotant cette réponse dynamique pour aider les concepteurs à prévoir la répartition des masses (quantité de matériau bois au bon endroit), afin de garantir le confort des occupants lors de ces épisodes de vent violent, qui seront plus fréquents du fait du changement climatique.

# PROJET DE RECHERCHE
# INDICES QEI

## Construction et application des indices de Qualité des Environnements Intérieurs

### Qu'appelle-t-on indices QEI et à quoi servent-ils ?

**O. R.** Un indice de Qualité des Environnements Intérieurs (QEI) est une formulation objective et synthétique d'un ensemble de paramètres physiques de notre environnement (confort thermique, qualité de l'air, éclairage et acoustique notamment). Ces paramètres peuvent être très variés et complexes à interpréter dans leur ensemble. L'expression de l'agrégation de ces données multiples en une réponse simple peut se décliner en un score, un code couleur ou une alerte sonore. Au-delà de la connaissance qu'il peut apporter sur l'état de la QEI à un instant donné, un indice QEI est construit pour répondre à un besoin qui peut varier selon les utilisateurs (pouvoirs publics, superviseur d'un parc de bâtiments, gestionnaire d'un bâtiment, propriétaires, locataires, simples visiteurs, etc.). Il est systématiquement associé à des recommandations d'actions à entreprendre pour revenir à un niveau de QEI plus satisfaisant. C'est un outil d'aide à la décision. Chaque besoin a son propre indice, sachant que les besoins peuvent être variés : « Le bâtiment que j'occupe est-il propice au travail en ce moment ? », « Je souhaite piloter mon système de ventilation en tenant compte de la QEI », « Je souhaite construire un nouveau bâtiment en cherchant à avoir une QEI exemplaire », etc. Chaque besoin va orienter les différents indicateurs à considérer dans la construction de l'indice qui cherche à y répondre. L'une des principales difficultés est d'ailleurs de pouvoir identifier et exprimer précisément le besoin de chaque utilisateur autour de la QEI. La construction d'un indice se fait généralement en trois étapes, une fois le besoin et l'utilisateur identifiés :

- définir les champs de la QEI à prendre en compte et, au sein de chacun d'entre eux, déterminer les indicateurs les plus pertinents à suivre et les différentes valeurs seuils de référence associées ;
- formuler les règles d'agrégation des différents indicateurs au sein du même champ QEI et les règles d'association entre les différents champs de la QEI ;
- proposer un mode de restitution / visualisation du résultat de l'indice avec les différentes recommandations associées.

**Wenjuan Wei,** PhD., ingénieure recherche et expertise à la direction Santé-Confort,

et **Olivier Ramalho,** PhD., ingénieur études et recherche à la direction Santé-Confort, CSTB

### Comment est-on passé de la QAI à la QEI ?

Le besoin d'information sur la qualité de l'air intérieur (QAI) relève d'une préoccupation sur la qualité sanitaire de l'ambiance dans laquelle évoluent les usagers, principalement au regard de ce qu'ils respirent. La QEI élargit cette démarche à d'autres dimensions du confort (thermique, acoustique, éclairage, olfactif) pour qualifier le bien-être dans le bâtiment. Les campagnes nationales menées par l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI) dans différents parcs de bâtiment se sont focalisées en priorité sur la QAI, avec l'intégration parfois de quelques indicateurs acoustiques ou d'éclairage très simplifiés. Au 1er janvier 2024, l'OQAI devient l'OQEI en mettant davantage l'accent sur la mesure d'indicateurs pertinents de QEI dans les campagnes nationales, lesquels alimenteront la réflexion sur la construction d'indices QEI à destination des pouvoirs publics principalement. Cette réflexion se fait également en synergie avec le projet CAP 2030 qui vise à identifier les domaines qui pourraient être intégrés dans la règlementation qui succédera à la RE2020. La QEI fait partie de ces sujets. Il appartiendra au gouvernement de définir ses orientations et priorités et donc les domaines qu'il souhaite retenir.

### Pouvez-vous présenter l'indice TAIL qui permet d'évaluer la QEI dans les bâtiments tertiaires (bureaux, hôtels, écoles) ?

**W.W.** Fondé sur 12 paramètres de QEI mesurables/calculables, l'indice TAIL a été initialement développé dans le cadre d'un projet européen (ALDREN - Alliance for Deep RENovation in buildings) pour évaluer la qualité globale de l'environnement intérieur dans les bureaux et les hôtels. Cet indice repose sur la qualification de quatre piliers : l'environnement thermique, l'environnement acoustique, la qualité de l'air intérieur et l'environnement lumineux. Ces travaux ont été suivis d'une recherche dont l'objectif est de développer un indice pour évaluer la QEI dans les écoles, basé sur la méthodologie TAIL. Cet indice quantitatif, composé de quatre niveaux de qualité (I, II, III et IV), permet d'identifier des pistes d'amélioration pour garantir la santé, le bien-être et les conditions d'apprentissage des enfants dans les écoles. Il est en effet désormais prouvé que ces dernières, qui résultent directement de la capacité de concentration ou, à l'inverse, de la fatigue, sont étroitement liées aux conditions d'ambiance des locaux que constituent la température, l'humidité, le taux de CO2, ou l'environnement acoustique et lumineux. Appliqué à la base de données QEI des écoles françaises (2013-2017) acquise par l'OQAI, l'indice TAIL révèle que plus de 97% des écoles présentent de bons niveaux de qualité (I et II) pour l'exposition au benzène, au formaldéhyde et aux moisissures. Cependant, plus de 75% des écoles montrent des niveaux de qualité moyens ou mauvais (III et IV) concernant la température, le dioxyde de carbone, les particules PM2,5, et la lumière artificielle. Les niveaux d'humidité relative, de dioxyde d'azote et de bruit de fond nécessitent également des interventions pour l'amélioration dans certains établissements.

# ACTUALITÉS RECHERCHE

## PestiRiv : étude sur l'exposition aux pesticides en zones viticoles

En octobre 2021, Santé publique France et l'ANSES ont lancé PestiRiv, une étude visant à identifier une éventuelle surexposition aux pesticides des riverains des vignobles par rapport aux personnes vivant loin de toute culture.
La France est l'un des plus grands utilisateurs mondiaux de produits phytopharmaceutiques (PPP), dont une large majorité est utilisée en agriculture. Certaines études épidémiologiques suggèrent un lien entre le fait de résider à proximité de zones agricoles et la survenue, voire la surincidence, de cancers pédiatriques et de l'adulte.
Dans le cadre de l'étude PestiRiv, le CSTB est intervenu en appui de l'ANSES (en charge du volet environnemental) pour proposer une stratégie de mesure, former les prestataires responsables de la mesure des pesticides dans l'air intérieur et les poussières collectées dans les logements, assurer la logistique du matériel de prélèvement et accompagner l'ANSES dans la validation des résultats fournis par les laboratoires d'analyse et leur exploitation. Plus de 600 logements, situés en Occitanie, en Provence-Alpes-Côte d'Azur, en Nouvelle-Aquitaine, en Auvergne-Rhône-Alpes, en Bourgogne-Franche-Comté et dans le Grand Est, ont fait l'objet de mesures, dont près de 200 durant les deux périodes. Les données ont été recueillies chez des riverains habitant à proximité de zones viticoles en période d'épandage et hors période d'épandage, afin d'étudier l'évolution saisonnière de leur exposition, et chez des riverains non exposés aux pesticides. Les résultats obtenus dans cette campagne, complétés par des mesures de l'air extérieur et une étude sur l'alimentation, sont aujourd'hui en phase d'exploitation. Une communication sera organisée par l'ANSES au niveau national dans le courant de l'année 2024.

**LANCEMENT PESTIRIV**

**PROTOCOLE PESTIRIV**

## Projet PARC : objectif zéro produit toxique

Le projet PARC a été créé dans le cadre du Pacte vert pour l'Europe qui rassemble des initiatives proposées par la Commission européenne pour faire de l'Europe le premier continent climatiquement neutre en 2050. Il vise à soutenir une stratégie de durabilité permettant d'atteindre l'objectif d'un environnement dénué de produits toxiques. Pour la Commission européenne et les États membres, PARC s'inscrit dans une démarche qui ambitionne de renforcer la collaboration entre les agences de réglementation, les ministères et la recherche pour développer de nouvelles approches méthodologiques et mieux contrôler, et évaluer, l'impact des substances chimiques sur la santé et l'environnement.
Le CSTB est impliqué dans la surveillance et la mesure de la contamination environnementale et l'exposition des êtres humains, et le développement d'une méthode d'évaluation des risques sanitaires chimiques sur la santé et l'environnement.
Depuis l'année dernière, le CSTB contribue à la priorisation des substances chimiques à rechercher dans l'environnement, y compris dans les environnements intérieurs, parmi une liste de composés perfluorés qualifiés de « polluants éternels » et de perturbateurs endocriniens. Des travaux se poursuivent sur le développement de modèles sources (émissions des pesticides – pyréthrinoïdes – et des plastifiants dans l'air). En 2024 débutera la préparation d'une campagne de mesure des polluants dans l'air et les poussières, dont les composés perfluorés qui ont encore été peu investigués dans les différentes campagnes d'identification de polluants dans l'air intérieur menées en France.

**EN SAVOIR PLUS**

RÉNOV' SANTÉ

## Rénov'Santé : évaluation des effets de la rénovation énergétique sur la santé des ménages précaires

Le CSTB participe à une étude sur les effets de la rénovation énergétique sur la santé perçue et la consommation de soins des ménages en situation de précarité énergétique.
Menée par l'Observatoire régional de la santé Auvergne-Rhône-Alpes, l'association Soliha, les Compagnons Bâtisseurs Rhône-Alpes et Auvergne, la Chaire Hope et le CSTB, elle a pour objectif de déterminer l'impact réel de la rénovation énergétique sur la santé des occupants des passoires thermiques. Le CSTB, qui est sollicité pour évaluer :

- la performance globale des logements (collectifs et maisons individuelles) avant et après travaux de rénovation énergétique via la méthode QSE* du programme PROFEEL ;
- les gains associés à une meilleure santé des résidents, en quantifiant monétairement la réduction du risque de morbidité résultant d'une meilleure efficacité énergétique. La valorisation de cette morbidité se base sur trois paramètres : la perte de bien-être engendrée par la maladie, la perte de production (absence/réduction de revenu) pour les individus, les coûts médicaux supportés par la Sécurité sociale pour chaque pathologie développée (bronchite chronique, arthrose, anxiété et dépression, maux de tête et migraines).

En 2023, deux types de questionnaires ont été envoyés à 175 ménages par l'ORS afin de connaître les caractéristiques de leurs logements, le type de travaux à effectuer et les principales données concernant leur recours au soin. La méthode QSE a été déployée dans un sous-échantillon de dix logements. Le traitement de ces premières données avant travaux est en cours. Le recueil des données après travaux débutera début 2025.

**La méthode Qualité sanitaire et énergétique (QSE) englobe l'étude de la qualité de l'air intérieur (confinement de l'air, pollution chimique, biologique et particulaire), le confort des occupants (thermique, acoustique, visuel et olfactif) et les consommations énergétiques.*
*https://programmeprofeel.fr/projets/qse-quartet/*

**EN SAVOIR PLUS**

# QUOI DE NEUF DOCTORANT(E) ?

**Thèse : Construction d'échelles de confort multicritères spécifiques aux usages et espaces de travail à partir d'indicateurs physiologiques sous contraintes performancielles**

## Charlotte Scarpa,

Nantes Université

PORTRAIT DOCTORANT THÈSE

*« Cette thèse, supervisée conjointement par le CSTB et le Laboratoire des Sciences du Numérique de Nantes, vise à combiner les neurosciences et la technologie digitale pour optimiser le confort et la performance dans les espaces de travail. Au cours de cette première année de thèse, j'ai pris conscience de l'importance vitale de l'interdisciplinarité dans la recherche. Je pense qu'aujourd'hui la fusion des connaissances et des expertises issues de diverses disciplines est essentielle pour le progrès scientifique. »*

**RETROUVEZ L'INTERVIEW EN VIDÉO**

# LES COULISSES DE LA RECHERCHE

## La méthode PULSE

Approche pionnière et innovante, la méthode PULSE du CSTB est issue de plus de 10 ans de recherche sur l'évaluation de la perception du confort.

**Interview de Gwénaëlle Haese, ingénieure recherche et expertise, division Usages et nouveaux enjeux de la Direction EAU, CSTB**

**RETROUVEZ L'INTERVIEW EN VIDÉO**

# CONTACT

CSTB
LE FUTUR EN CONSTRUCTION

// TOUTE L'ACTUALITÉ DE LA RECHERCHE DU CSTB

Suivez toute l'actualité du CSTB sur :

www.cstb.fr

**INSCRIVEZ-VOUS**
pour recevoir le prochain numéro

Et découvrez notre site :

CSTB Lab
accélérateur de start-up

**Directeur de la publication :** Étienne Crépon • **Directrice de la rédaction :** Géraldine Squenel • **Rédaction :** Hervé Charrue, Mickael Derbez, Virginie Desvignes, Fabrice De Oliveira, Thierno Diallo, Catherine Guigou, Gwénaëlle Haese, Isabelle Marcelly, Sophie Moreau, Olivier Ramalho, Charlotte Scarpa, Noelvia Sedoarisora, Wenjuan Wei • **Coordination :** Virginie Proteau • **Crédits photos :** ©JACQUES Pierre / hemis.fr, ©MATTES René / hemis.fr, Claire-Lise Havet (pages 4 et 5) ©shutterstock • **Conception :** www.thalamus-ic.fr