

# GT 4 QUALITÉ DES ENVIRONNEMENTS INTÉRIEURS

Livrable de la phase 1

Fiches indicateurs Acoustique, Eclairage, Qualité d'Air Intérieur et Confort thermique

Novembre 2024

©Manuel Bouquet / Terra

Avec le soutien de :

## PREAMBULE

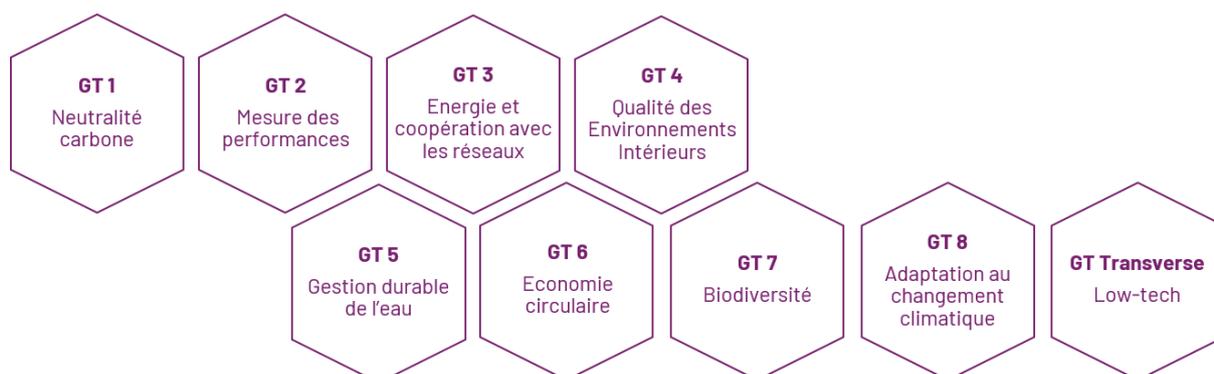
La nouvelle réglementation environnementale des bâtiments neufs (RE2020), entrée en vigueur au 1er janvier 2022, dessine une trajectoire ambitieuse en faveur de la performance environnementale des bâtiments. Elle fixe un cap clair et une trajectoire progressive donnant la priorité à la sobriété énergétique, à la décarbonation de l'énergie et à la réduction de l'impact sur le climat de la construction des bâtiments tout en garantissant le confort des occupants.

A l'image des travaux de préfiguration ayant inspiré les réglementations thermiques successives, le Ministère a affirmé sa volonté d'**impulser une nouvelle dynamique collective vertueuse et inciter les acteurs volontaires à aller au-delà de la RE2020**, en cohérence avec les objectifs nationaux à moyen et long terme et ainsi élargir, dans un cadre volontaire, l'actuel champ réglementaire de la RE2020 à d'autres aspects environnementaux, éclairant une voie de progrès que tous, Etat, collectivités et acteurs de la filière, souhaitent poursuivre pour les bâtiments de demain et d'après-demain.

A la suite de la vaste concertation menée en 2021 par le Plan Bâtiment Durable, l'Etat, par une lettre de mission signée le 28 avril 2023 par la Directrice Générale de l'Aménagement, du Logement et de la Nature, a confié le soin à **trois associations**, l'Alliance HQE-GBC, la Collectif Effinergie et le Collectif des Démarches Quartiers Bâtiments Durables - regroupés au sein du Groupement d'Intérêt Ecologique (GIE) - de **conduire le projet CAP2030** afin de proposer un cadre commun de référence permettant d'aller au-delà de la RE2020. Le projet est mené avec l'appui scientifique et technique du CSTB et l'accompagnement du Plan Bâtiment Durable, et avec le soutien financier du Ministère du Logement et de la Rénovation urbaine et de l'ADEME.

Ce projet inédit vise à **co-construire**, avec tous les **acteurs du bâtiment volontaires**, un **cadre commun de référence** qui viendrait préfigurer les futures réglementations environnementales. Celui-ci ambitionne de dépasser la RE2020 en intégrant de nouvelles thématiques telles que la mesure des performances, l'eau, la biodiversité, l'économie circulaire, la qualité de l'environnement intérieur, l'adaptation au changement climatique, la low tech, en plus du carbone et de l'énergie. L'objectif est de préparer la construction de bâtiments durables et résilients de demain et d'après-demain, en prenant en compte les enjeux écologiques, économiques et sociétaux, et d'accompagner les acteurs dans la mise en œuvre des nouvelles réglementations.

Le projet CAP2030 a démarré en octobre 2023 et a mobilisé, sur sa première phase de travail, plus de 1 000 professionnels au sein des neuf groupes de travail thématiques :



Chaque groupe de travail est piloté par le GIE, avec l'appui du CSTB. Des experts y sont ponctuellement associés. Ces groupes de travail sont ouverts à tous les acteurs volontaires souhaitant s'engager dans le projet et apporter leur expertise.

D'octobre 2023 à l'été 2024, les groupes de travail ont élaboré des propositions, qui ont été consolidées par le Conseil Scientifique et Technique, et dont le format dépend de la maturité des thématiques, des travaux de recherche existants et du retour d'expérience disponible. Ces travaux sont synthétisés dans les livrables de la phase 1 publiés pour chaque groupe de travail.

Ces premiers travaux viennent nourrir la co-construction du cadre commun de référence (CCR), objet central du projet CAP2030, dont une première version sera présentée au 1<sup>er</sup> trimestre 2025.

Conforme à la RE2020, ce CCR a pour ambition d'explorer des enjeux au-delà de cette réglementation. Il proposera une grammaire commune traduite dans un outil pratique et évolutif, fondé sur des données concrètes et des retours d'expérience. Destiné à toutes les typologies de bâtiments (résidentiels et tertiaires) sur l'ensemble du territoire, le CCR veille à sa convergence avec les cadres réglementaires et normatifs nationaux et européens. Il a également pour objectif d'accompagner les acteurs dans leur montée en compétences sur les thématiques abordées par CAP2030. Il mettra en lumière l'ensemble des thématiques traitées dans CAP2030.

Une fois intégré aux outils des associations (certifications, labels, démarches BD), le CCR pourra être largement expérimenté par les maîtres d'ouvrage. Leurs retours d'expérience viendront alimenter l'Observatoire CAP2030 et permettront d'enrichir et d'ajuster le CCR mais également de faire progresser l'ensemble de la filière.

Quant aux travaux des GT, ils se poursuivront à partir de janvier 2025 pour approfondir certains indicateurs et en explorer de nouveaux.

## TABLE DES MATIERES

Préambule.....	1
1. Indicateurs pour l'acoustique .....	5
1.1. Documents de référence .....	5
1.2. Indicateurs existants .....	7
1.2.1. Isolement acoustique .....	7
1.2.2. Niveau de bruit.....	9
1.2.3. Traitement acoustique.....	9
1.3. Propositions pour aller au-delà de l'existant .....	9
1.4. Annexes Acoustique .....	10
2. Indicateurs pour l'éclairage .....	27
2.1. Documents de référence .....	27
2.2. Indicateurs existants .....	29
2.2.1. Catégories des indicateurs existants .....	30
2.2.2. Définition des enjeux.....	30
2.2.3. Liste des indicateurs existants en éclairage électrique.....	31
2.2.4. Liste des indicateurs existants en éclairage naturel .....	32
2.2.5. Liste des indicateurs existants concernant le contrôle des ambiances visuelles .....	34
2.2.6. Liste des indicateurs existants "toute lumière".....	35
2.2.7. Liste des indicateurs existants concernant la consommation énergétique de l'éclairage (hors-sujet QEI mais potentiellement impactés par la QEI).....	35
2.3. Méthodes d'évaluation des indicateurs et niveau d'expertise requis .....	36
2.4. Analyse des indicateurs fiables et à enjeu fort .....	36
2.4.1. Eclairage moyen de lumière artificielle sur le plan de travail ou dans le local .....	36
2.4.2. Indice de rendu de couleur (fidélité) des luminaires (Ra ou Rf).....	37
2.4.3. Modulation temporelle : papillotement et effets stroboscopiques .....	37
2.4.4. Groupe de risque photobiologique des luminaires pour les populations sensibles (dont les enfants) .....	37
2.4.5. Autonomie en lumière du jour d'un local .....	37
2.4.6. Vue sur l'extérieur (oui/non).....	38
2.4.7. Indice d'éblouissement par les baies.....	38
2.4.8. Présence de protections solaires (fixes ou mobiles) ou autre moyen de lutte contre l'éblouissement .....	38
2.4.9. Performances des protections solaires : classe de limitation de l'éblouissement .....	38
2.5. Analyse des indicateurs fiables à enjeu moyen.....	39
2.5.1. Uniformité de l'éclairage artificiel .....	39

2.5.2. Indice d'éblouissement UGR des luminaires.....	39
2.5.3. Groupe de risque photobiologique des luminaires (pour la population générale) .....	39
2.5.4. Mécanisme de mise en place et d'ajustement des protections solaires : manuelle, automatique ou inexistant .....	40
2.5.5. Dispositifs d'allumage, d'extinction et de gradation de l'éclairage électrique .....	40
2.5.6. Indicateur d'exposition circadienne m-EDI .....	40
2.6. Bilan par phase des indicateurs fiables et à enjeu fort et moyen .....	40
2.6.1. En phase de conception .....	40
2.6.2. En phase d'exécution .....	41
2.6.3. En phase de réception .....	41
2.6.4. En phase d'exploitation.....	41
2.7. Propositions au-delà de l'existant.....	42
2.7.1. Définir les protocoles de mesures et d'évaluation pour mettre en œuvre les indicateurs proposés.....	42
2.7.2. Définir la stratégie de déploiement des capteurs pour la surveillance en phase d'exploitation .....	42
2.7.3. Nouvel indicateur d'efficacité circadienne de la lumière .....	42
3. Indicateurs pour la qualité d'air intérieur.....	43
3.1. Documents de référence .....	43
3.2. Indicateurs existants .....	45
3.2.1. Humidité relative et moisissures.....	46
3.2.2. CO <sub>2</sub> et ventilation.....	47
3.2.3. Polluants intérieurs .....	48
3.3. Propositions au-delà de l'existant .....	50
4. Indicateurs pour le confort thermique .....	51
4.1. Documents de référence .....	51
4.2. Indicateurs existants .....	52
4.2.1. PMV (Predicted Mean Vote) .....	52
4.2.2. Température opérative (confort adaptatif).....	53
4.2.3. PMVe .....	53
4.2.4. PMVa .....	53
4.2.5. SET (Standard effective temperature).....	54
4.2.6. SET adaptatif .....	54
4.3. Propositions au-delà de l'existant .....	54

# 1. INDICATEURS POUR L'ACOUSTIQUE

## 1.1. Documents de référence

### 1.1.1. Réglementations

- Arrêté du 30 juin 1999 relatif aux caractéristiques acoustiques des bâtiments d'habitation
- Arrêté du 30 juin 1999 relatif aux modalités de la réglementation acoustique
- Arrêté du 25 avril 2003 relatif à la limitation du bruit dans les établissements de santé
- Arrêté du 25 avril 2003 relatif à la limitation du bruit dans les établissements scolaires
- Arrêté du 25 avril 2003 relatif à la limitation du bruit dans les hôtels
- Décret 2006-1099 relatif à la lutte contre les bruits de voisinage et modifiant le code de la santé publique
- Arrêté du 17 avril 2009 Caractéristique acoustique des bâtiments d'habitation neufs dans les départements de Guadeloupe, Martinique, Guyane et la Réunion
- Arrêté du 23 juillet 2013 modifiant l'arrêté du 30 mai 1996 relatif aux modalités de classement des infrastructures de transports terrestres et à l'isolement acoustique des bâtiments d'habitation dans les secteurs affectés par le bruit
- Arrêté du 3 septembre 2013 illustrant par des schémas et des exemples les articles 6 et 7 de l'arrêté du 30 mai 1996 modifié relatif aux modalités de classement des infrastructures de transports terrestres et à l'isolement acoustique des bâtiments d'habitation dans les secteurs affectés par le bruit
- Arrêté du 20 avril 2017 relatif à l'accessibilité aux personnes handicapées des ERP 30 aout 1990 relatif à la correction acoustique des locaux de travail
- Arrêté du 13 avril 2017 relatif aux caractéristiques acoustiques des bâtiments existants lors de travaux de rénovation importants
- Article r1336-7 du code de la santé publique, modifié par Décret n°2017-1244 du 7 août 2017 - art. 1 concernant l'émergence bruit particulier
- Arrêté du 31 août 2021 créant un référentiel national relatif aux exigences applicables aux établissements d'accueil du jeune enfant en matière de locaux, d'aménagement et d'affichage
- Arrêté du 26 décembre 2023 relatif à la prise en compte de la réglementation acoustique (Attestation acoustique pour les bâtiments d'habitation)

### 1.1.2. Normes

- NF ISO 22955 – Acoustique – Qualité acoustique des espaces de bureaux ouverts
- EN16798-1 : Performance énergétique des bâtiments - Ventilation des bâtiments - Partie 1 : données d'entrées d'ambiance intérieure pour la conception et l'évaluation de la performance énergétique des bâtiments couvrant la qualité de l'air intérieur, l'ambiance thermique, l'éclairage et l'acoustique
- ISO/TS 19488 – Acoustique – Système de classification acoustique des logements"
- NF EN ISO 10052 – Acoustique – Mesurages in situ de l'isolement aux bruits aériens et de la transmission des bruits de choc ainsi que du bruit des équipements – Méthode de contrôle (mesures par bandes d'octave)
- NF EN ISO 16032 – Acoustique – Mesurage du niveau de pression acoustique des équipements techniques dans les bâtiments – Méthode d'expertise

- Série NF EN ISO 16283 – Acoustique – Mesurage in situ de l'isolation acoustique des bâtiments et des éléments de construction (Mesures d'expertise)
  - o Partie 1 : isolation des bruits aériens
  - o Partie 2 : isolation des bruits d'impacts
  - o Partie 3 : isolation des bruits de façades
- NF 31-080 – Acoustique – Bureaux et espaces associés – Niveaux et critères de performances acoustiques par type d'espace
- NF S 31-010 – Acoustique – Caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement – Méthodes particulières de mesurage
- NF P90-207 Salles sportives – Acoustique
- Série NF EN ISO 12354 – Acoustique du bâtiment – Calcul de la performance acoustique des bâtiments à partir de la performance des éléments
  - o Partie 1 : isolement acoustique aux bruits aériens entre des locaux
  - o Partie 2 : isolement au bruit de choc entre locaux
  - o Partie 3 : isolement aux bruits aériens venus de l'extérieur
  - o Partie 4 : transmission du bruit intérieur à l'extérieur
- Série NF EN 2354 – Acoustique du bâtiment – Calcul de la performance acoustique des bâtiments à partir de la performance des éléments
  - o Partie 5 : niveaux de bruits dus aux équipements techniques
  - o Partie 6 : absorption acoustique des pièces et espaces fermés
- Projet de norme NF S31-099 acoustique des restaurants

### 1.1.3. Référentiels

- Référentiel qualité NF Habitat et NF Habitat HQE
- Référentiels HQE Bâtiment Durable et HQE Bâtiment (Tertiaire et Santé)

### 1.1.4. Autres

- Guide CNB n°6 de 2022 pour l'ensemble de la réglementation pour tous les indicateurs
- Guide de mesures acoustiques – DHUP 2014 (mesures par bandes d'octave)
- Fiches AQC – Bruits des équipements individuels et collectifs
- GIAC – Méthodologie de prise en compte de l'acoustique dans la conception des bâtiments (voir annexe du présent document)
- Les exemples de solutions acoustiques (ESA) 2014
- Résumé des orientations de l'OMS relatives au bruit dans l'environnement

## 1.2. Indicateurs existants

	Seuil existant Oui/Non	Application Résidentiel / Tertiaire	Fiabilité	Enjeux <sup>1</sup> Fort/Moyen/Faible
<b>1. Isolement au bruit aérien intérieur (D<sub>nT,A</sub>)</b>	Oui Réglementation ou Norme	Résidentiel et tertiaire	Fiable*	Fort
<b>2. Isolement au bruit aérien extérieur (D<sub>nT,A,tr</sub>)</b>	Oui Réglementation ou Norme	Résidentiel et tertiaire	Fiable*	Fort
<b>3. Niveau de bruit de choc (L'<sub>nT,w</sub>)</b>	Oui Réglementation ou Norme	Résidentiel et tertiaire	Fiable*	Fort
<b>4. Niveau de bruit des équipements du bâtiment</b> L <sub>nAT</sub> = L <sub>ASmax, nT</sub>	Oui Réglementation ou Norme	Résidentiel et tertiaire	Fiable*	Fort
<b>5. Traitement réverbération (Tr, AE, Decroissance spatiale)</b>	Oui Réglementation ou Norme	Résidentiel et tertiaire	Fiable	Tertiaire : Fort Résidentiel : Faible à Moyen <sup>+</sup>

<sup>1</sup>Fort / Moyen / Faible :

Fort : peut provoquer des tensions sociétales et des maladies (coût social)

Moyen : peut provoquer de l'inconfort et des maladies (coût social)

Faible : peut provoquer de l'inconfort

\* Tolérance de 3 dB liée à l'incertitude de mesure prévue dans la réglementation

<sup>+</sup> En fonction de l'agencement des logements par rapport aux parties communes

### 1.2.1. Isolement acoustique

#### Bruit aérien intérieur D<sub>nT,A</sub>

Phase	Evaluation <sup>1</sup>	Enjeux Fort/Moyen/Faible	Niveau d'expertise Fort/Moyen/Faible
<b>Conception</b>	Calcul* : AcousSTICS21 AcousSTIFF AcouSYS AcouBat V8 Acoubat by CYPE	Fort	Fort
<b>Exécution</b>	Suivi de chantier / Inspection	Fort	Moyen
<b>Réception</b>	Mesures	Fort	Moyen
<b>Exploitation</b>	/	/	/

<sup>1</sup>Calcul / Mesure / Inspection, ou autre type d'évaluation à préciser

\* Liste non exhaustive des outils de calcul

### Bruit aérien extérieur (DnT,A,tr)

Phase	Evaluation <sup>1</sup>	Enjeux Fort/Moyen/Faible	Niveau d'expertise Fort/Moyen/Faible
<b>Conception</b>	Calcul* : AcousSTIFF AcouSYS AcousSTICS21 AcouBat V8 Acoubat by CYPE  Calcul niveau de bruit extérieur* : AcousPropa CADNAA Inoise MithraSIG NoiseModelling	Fort	Fort
<b>Exécution</b>	Suivi de chantier / Inspection	Fort	Moyen
<b>Réception</b>	Mesures	Fort	Moyen
<b>Exploitation</b>	/	/	/

<sup>1</sup> Calcul / Mesure / Inspection, ou autre type d'évaluation à préciser

\* Liste non exhaustive des outils de calcul

### Niveau de bruit de choc (L'nT,wr)

Phase	Evaluation <sup>1</sup>	Enjeux Fort/Moyen/Faible	Niveau d'expertise Fort/Moyen/Faible
<b>Conception</b>	Calcul* : AcousSTING AcouSYS AcousSTICS21 AcouBat V8 Acoubat by CYPE	Fort	Fort
<b>Exécution</b>	Suivi de chantier / Inspection	Fort	Moyen
<b>Réception</b>	Mesures	Fort	Moyen
<b>Exploitation</b>	/	/	/

<sup>1</sup> Calcul / Mesure / Inspection, ou autre type d'évaluation à préciser

\* Liste non exhaustive des outils de calcul

## 1.2.2. Niveau de bruit

### Bruit des équipements du bâtiment LnAT

Phase	Evaluation <sup>1</sup>	Enjeux Fort/Moyen/Faible	Niveau d'expertise Fort/Moyen/Faible
<b>Conception</b>	Calcul* : AcouBat V8	Fort	Fort
<b>Exécution</b>	Suivi de chantier / Inspection	Fort	Moyen
<b>Réception</b>	Mesures	Fort	Moyen
<b>Exploitation</b>	/	/	/

<sup>1</sup> Calcul / Mesure / Inspection, ou autre type d'évaluation à préciser

\* Liste non exhaustive des outils de calcul

## 1.2.3. Traitement acoustique

### Tr, AE, Décroissance spatiale

Phase	Evaluation <sup>1</sup>	Enjeux Fort/Moyen/Faible	Niveau d'expertise Fort/Moyen/Faible
<b>Conception</b>	Calcul* : AcouBat V8 Simcenter 3D: Ray Acoustics Modeling Catt-Acoustic, Odeon, Treble	Fort	Fort
<b>Exécution</b>	Suivi de chantier / Inspection	Fort	Moyen
<b>Réception</b>	Mesures	Fort	Moyen
<b>Exploitation</b>	/	/	/

<sup>1</sup> Calcul / Mesure / Inspection, ou autre type d'évaluation à préciser

\* Liste non exhaustive des outils de calcul

## 1.3. Propositions pour aller au-delà de l'existant

- Conseil acoustique pour les différentes phases
- Prévisions et mesures pour les isolements acoustiques en tiers d'octave 50-5000 Hz (plutôt qu'en octave entre 125 et 4000 Hz)
- Diminuer le seuil de performance du niveau de bruit d'impact L'nT,w pour répondre au niveau de confort minimal attendu dans les logements
- Intégrer les basses fréquences dans l'indicateur de performance : L'nT,w+CI50-2500 pour répondre au niveau de confort minimal attendu dans les logements comportant des planchers légers (notamment bois) – Voir Annexe 1
- Zone jour/ nuit : définir un niveau d'isolement acoustique entre les pièces de jour et de nuit d'un même logement
- Adaptabilité des logements aux nouveaux modes de vie (travailleurs de nuit, télétravail, ...) : définir un niveau d'isolement acoustique pour une pièce dédiée dans un même logement pour une meilleur cohabitation des activités

- Cohabitation ou coliving : définir un niveau d'isolement acoustique entre les pièces de vie commune et les pièces privatives ainsi qu'entre pièces privatives
  - o Pris en compte dans le référentiel Qualitel
- Chambre sur façade calme : définir un isolement vis-à-vis des « voisins » (logement, chambre d'hôtel, chambre d'hôpital) plus contraignant (supérieur)
- Mesures du bruit des équipements par bande de tiers d'octave 50-8000 Hz
- Ajouter un objectif sur le bruit d'un équipement extérieur dans son propre logement (notamment pour les PAC)
- Zone très calme : en chambre définir un niveau de bruit d'équipement plus contraignant (inférieur) – courbes de bruit en fonction de la fréquence.
- Sonorité à la marche : Revoir les classes avec le nouvel indicateur européen Ln,pas,A
- Performance vis-à-vis du bruit de pluie pour éléments de toiture (sur la base des mesures en laboratoire)
- Limitations des niveaux de vibrations et de bruit solidien associés au transport ferroviaire
- Mesure en octave à 63 Hz puis en tiers d'octave au-dessus pour le temps de réverbération
- Augmentation de l'aire d'absorption équivalente et application de ce seul critère pour les plateaux à aménager.
- Intelligibilité de la parole STI
- Classes de performance acoustique

## 1.4. Annexes Acoustique

### Annexe 1 – Retour d'expérience sur les prévision et mesure du niveau de bruit d'impact 50-5000 Hz

#### **Acoustique : étude sur les basses fréquences dans les logements collectifs – dossier thématique Qualitel** (Décembre 2016)<sup>1</sup>

Le développement des constructions légères à ossatures bois, les bruits causés par des enfants qui courent ou sautent tout comme l'équipement de plus en plus de foyers en systèmes audio posent la question des basses fréquences dans les logements collectifs. En effet, les exigences en termes d'acoustique dans la réglementation relative aux bâtiments d'habitation ne considèrent pas cette gamme de fréquences. Afin d'évaluer l'impact de ces basses fréquences, des mesures acoustiques complétées d'enquêtes auprès des occupants de 15 bâtiments de logements collectifs en béton et en bois ont été menées.

De manière générale, inclure les basses fréquences est sans incidence sur les résultats des mesures acoustiques réalisées dans des constructions en béton. Cela signifie que les solutions techniques actuellement les plus courantes restent valables si les exigences devaient évoluer.

Pour les constructions à ossatures bois en revanche, la prise en compte de ces fréquences a une incidence importante sur les résultats de mesure, que ce soit pour les bruits aériens comme pour les bruits de chocs. De plus, dans les structures bois et béton, les mesures concernant les bruits

---

<sup>1</sup> [https://www.qualitel.org/uploads/DOSSIER\\_THEMATIQUE\\_Acoustique\\_Web.pdf](https://www.qualitel.org/uploads/DOSSIER_THEMATIQUE_Acoustique_Web.pdf)

de chocs avec ballon d'impact, représentant bien les bruits de pas d'enfants qui courent, ont révélé des niveaux importants, autour de 55 dB, qui peuvent entraîner à une nuisance sonore.

Parallèlement, dans les réponses aux enquêtes, les nuisances liées aux bruits aériens basses fréquences (musique, films) ne ressortent pas particulièrement, et ce, quel que soit le type de construction. Il ne semble donc pas prioritaire d'utiliser des critères acoustiques étendus aux basses fréquences. En revanche, les enquêtes ont révélé que les bruits de pas constituent la gêne principale dans les logements neufs, bien qu'il s'agisse de constructions avec des performances supérieures à la réglementation.

Il ressort de cette étude « Basses fréquences » que la réduction des niveaux de bruits de chocs est prioritaire si l'on souhaite améliorer la satisfaction des occupants. Et puisque les bruits de pas comportent des basses fréquences dans les constructions à ossatures bois, les niveaux de bruits d'impacts devraient donc prendre en compte les basses fréquences.

Enfin, cette étude a révélé que les procédures actuelles de contrôle ainsi que les sources de bruits utilisées sont globalement adaptées pour évaluer les performances avec les basses fréquences, sans augmenter le temps passé sur site. L'augmentation de la résolution de la mesure, c'est-à-dire la réalisation de mesures par bandes de tiers d'octaves, est vivement recommandée car elle permet d'éviter des mesures erronées sur certaines opérations avec les indices actuels, tout en restant compatible avec les solutions techniques les plus courantes.

### **Maquette Acoustique AdivBois – Construction d'un prototype de bâtiment bois et Réalisation d'essais acoustiques – Rapport final FCBA, CSTB et CERQUAL (Mai 2022)<sup>2</sup>**

Ci-dessous, il est fait référence aux Annexes C et E de ce rapport final.

#### Annexe C Détails des mesures acoustiques

Ce rapport a pour objet la présentation des résultats de mesure de la performance du bâtiment ; les mesures ont été effectuées par plusieurs équipes et principalement des mesures d'isolement au bruit aérien et niveau de bruit de choc pour les tiers d'octave de 50 à 5000 Hz. Le FCBA a aussi réalisé des mesures au ballon.

Chaque équipe a utilisé son propre protocole de mesurage et son propre matériel.

Le Tableau 1 ci-dessous indique les différentes méthodologies de mesurage suivie.

Equipe	Méthode de mesurage		
	Isolement au bruit aérien	Niveau de bruit de choc	Ballon
FCBA	ISO 16283-1 2 positions de source en simultané Micro sur bras tournant	ISO 16283-2 4 positions de source Micro sur bras tournant	ISO 16283-2 4 positions de ballons 4 positions de micro fixes
AIDA	1 position de source en angle 2 positions micro, balayage manuel figure 8	3 positions de source 2 positions micro, balayage manuel figure 8	

<sup>2</sup> [codifab.fr/uploads/media/646234f9ed2f4/aco-b-campagne-dessais-acoustiques-sur-la-maquette-acoustique-dadivbois.pdf](https://codifab.fr/uploads/media/646234f9ed2f4/aco-b-campagne-dessais-acoustiques-sur-la-maquette-acoustique-dadivbois.pdf)

HEDONT	2 positions de source 1 position micro, balayage manuel figure 8	1 position de source 1 position micro, balayage manuel figure 8	
SINIAT	1 position de source en angle côté façade et opposé au mur testé 1 position micro avec balayage manuel figure 8	2 positions de source dans les 2 diagonales de la pièce 1 position micro avec balayage manuel figure 8	
ACOUSTB	1 position de source en angle 1 position micro, balayage manuel figure 8 au centre pièce sur 30s	3 positions de source 1 position micro, balayage manuel figure 8 au centre pièce sur 30s	
Placo ISOVER	1 (petites pièces) ou 2 (grandes pièces) positions de source en angle 1 position micro, balayage manuel figure 8 au centre pièce sur 90s	2 (petites pièces) ou 4 (grandes pièces) positions de source 1 position micro, balayage manuel figure 8 au centre pièce sur 90s	

Tableau 1 : Méthodes de mesure.

On rappelle que l'indicateur  $L'_{nT,w}$  est basé sur les bandes de tiers d'octave entre 100 et 3150 Hz, le terme d'adaptation  $C_{150-2500}$  sur les bandes de tiers d'octave entre 50 et 2500 Hz ; ainsi l'indicateur  $L'_{nT,w}+C_{150-2500}$  tient compte des bandes de tiers d'octave entre 50 et 3150 Hz et inclut donc les basses fréquences.



Figure 1 : Référencement des locaux dans le prototype.

Les Tableaux 2 et 3 donnent l'ensemble des résultats de mesure concernant le niveau de bruit de choc, avec les moyennes et les écarts-types associés respectivement en termes de performance  $L'_{nT,w}$  et  $L'_{nT,w}+C_{150-2500}$ . (pour la nomenclature pour le local d'émission et le local de réception, se reporter à la Figure 1). Les résultats en vert indiquent un niveau de bruit de choc conforme aux objectifs fixés, soit  $L'_{nT,w}$  et  $L'_{nT,w}+C_{150-2500} \leq 55$  dB. Un fond bleu pour les locaux indique une modification lors de l'étape d'encoffrement. L'effet d'encoffrement est relativement négligeable sur les résultats en termes de niveau de bruit de choc, aussi une moyenne globale des performances mesurées est évaluée.

L'écart-type toutes mesures confondues varie de 0 à 2.8 dB pour l'indice  $L'_{nT,w}$  et de 0 à 4.9 dB pour l'indice  $L'_{nT,w} + C_{150-2500}$ . Les mesures dans la direction horizontale présentent des écarts-types plus grand que ceux dans la direction verticale. La présence d'un revêtement sol augmente

légèrement l'écart-type de mesure. Les Figures 2 et 3 montrent les écart-types de mesure dans la direction verticale et horizontale respectivement ; la Figure 4 montre la même chose pour la direction verticale lorsqu'un revêtement de sol est pris en compte (RdS Labo ou Carrelage). De manière générale, les différences entre mesurages pour le niveau de bruit de choc s'expliquent par les différentes méthodologies et/ou équipements utilisés par les différentes équipes de mesurages.

A ce sujet, la norme NF EN ISO 12999-1 propose pour des mesurages effectués suivant la série de normes d'expertise de mesurage sur site NF EN ISO 16283, une incertitude type de 1 dB sur l'indicateur  $L'_{nT,w}$  et  $L'_{nT,w}+C_i$  (pas d'information particulière sur l'indicateur intégrant les basses fréquences  $L'_{nT,w}+C_{i50-2500}$ ). Une multiplication par 2 (pour couvrir un niveau de confiance de l'ordre de 95 % bilatéral) donne une incertitude élargie de  $\pm 2$  dB.

Même si les différentes équipes ayant effectuées les mesurages ne l'ont pas fait suivant la série de norme NF EN ISO 16283 (seul FCBA a suivi cette norme d'expertise), les écarts-types ont été analysés toutes méthodes confondues et malgré un jeu de données pouvant être considéré comme faible d'un point de vue statistique.

Dans certains cas, les écarts-types sont comparables aux incertitudes élargies indiquées par la norme ( $\pm 2$  dB), pour d'autres ils s'en écartent assez nettement (jusqu'à 5 dB).

Plusieurs éléments peuvent rentrer en ligne de compte pour expliquer la variabilité des résultats de mesure :

- un moyennage spatial et temporel imparfait lors de la détermination des niveaux de pression acoustique moyens;
- les incertitudes associées à la correction du bruit de fond lorsque celui-ci n'est pas stable;
- les incertitudes associées à la détermination de l'absorption de la salle ou temps de réverbération du local ;
- l'équipement de mesure, y compris l'étalonnage.
- ...

Local d'émission	Local de réception	Mesure HEDONT	Mesure AIDA	Mesure FCBA	Mesure FCBA - après encoffrement	Mesure SINIAT - avec encoffrement	Mesure ACOUSTB - après encoffrement	Mesure AIDA - après encoffrement	Mesure Placo Isover - après encoffrement	Moyenne Mesures	Ecart-type Mesures
		$L'_{nT,w}$	$L'_{nT,w}$	$L'_{nT,w}$	$L'_{nT,w}$	$L'_{nT,w}$	$L'_{nT,w}$	$L'_{nT,w}$	$L'_{nT,w}$	$L'_{nT,w}$	$L'_{nT,w}$
S11	S01	52	52				53			52.3	0.6
S11 (RdS Labo)	S01						47			47.0	
S11 (RdS 1)	S01	47								47.0	
S12	S02		51	51						51.0	0.0
S12 (RdS Labo)	S02		49							49.0	
S12 (RdS 1)	S02		47							47.0	
S14	S04	54	54	53	52	54	54	54		53.6	0.8
S14 (RdS Labo)	S04				50		51	51		50.7	0.6
S14 (RdS 1)	S04	48	49							48.5	0.7
S14 (Parquet)	S04				53					53.0	
S21	S11	53	52	52		54	54			53.0	1.0
S21 (RdS Labo)	S11					47	50			48.5	2.1
S21 (RdS 1)	S11	49	48							48.5	0.7
S23	S24	51	51							51.0	0.0
S23 (RdS Labo)	S24										
S23 (RdS 1)	S24	46								46.0	
S23	S13	52		52	50					51.3	1.2
S23 (RdS Labo)	S13										
S23 (RdS 1)	S13	42								42.0	
S23 (Parquet)	S13				48					48.0	
S23	S14	54								54.0	
S23 (RdS Labo)	S14										
S23 (RdS 1)	S14	47								47.0	
S24	S13		55	53	52			53		53.3	1.3
S24 (RdS Labo)	S13				47			51		49.0	2.8
S24 (RdS 1)	S13		49							49.0	
S24 (Parquet)	S13				50					50.0	
S11	S12	34	33	31		36				33.5	2.1
S11 (RdS Labo)	S12										
S11 (RdS 1)	S12	31								31.0	
S13	S12	35	34	34	35					34.5	0.6
S13 (RdS Labo)	S12										
S13 (RdS 1)	S12	31								31.0	
S13 (Carrelage)	S12				33					33.0	
S13	S14	49	49	50	48			51		49.4	1.1
S13 (RdS Labo)	S14										
S13 (RdS 1)	S14	38								38.0	
S13 (Carrelage)	S14				50					50.0	
S21	S22	40	38	40						39.3	1.2
S21 (RdS Labo)	S22										
S21 (RdS 1)	S22	31								31.0	
S13	S03							54		54.0	
S13 (RdS Labo)	S03				49					49.0	
S13 (Carrelage)	S03				52					52.0	
S13	S03r				55			54	54	54.3	0.6
S13 (RdS Labo)	S03r				52			51	54	51.5	0.7
S13 (Carrelage)	S03r				54			54	54	54.0	0.0
S13 (Parquet)	S03r				53					53.0	
S13+S14 - Poteau encoffré	S03r								54	54.0	
S13+S14 - Poteau encoffré (Carrelage)	S03r								55	55.0	
S23+S24 - Poteau encoffré	S13+S14 - Poteau encoffré				50				50	50.0	0.0
S23+S24 - Poteau apparent	S13+S14 - Poteau encoffré				50				50	50.0	0.0
S23+S24 - Poteau apparent	S13+S14 - Poteau apparent				50					50.0	

Tableau 2 : Récapitulatif de la performance mesurée en termes de niveau de bruit de choc –  $L'_{nT,w}$ .

		Mesure HEDONT	Mesure AIDA	Mesure FCBA	Mesure FCBA - après encoffrement	Mesure SINIAT - avec encoffrement	Mesure ACOUSTB - après encoffrement	Mesure AIDA - après encoffrement	Mesure Placo Isover - après encoffrement	Moyenne Mesures	Ecart-type Mesures
Local d'émission	Local de réception	$L'_{nT,w}+C_{150-2500}$	$L'_{nT,w}+C_{150-2500}$	$L'_{nT,w}+C_{150-2500}$	$L'_{nT,w}+C_{150-2500}$	$L'_{nT,w}+C_{150-2500}$	$L'_{nT,w}+C_{150-2500}$	$L'_{nT,w}+C_{150-2500}$	$L'_{nT,w}+C_{150-2500}$	$L'_{nT,w}+C_{150-2500}$	$L'_{nT,w}+C_{150-2500}$
S11	S01	54	53				52			53.0	1.0
S11 (RdS Labo)	S01						50			50.0	
S11 (RdS 1)	S01	53								53.0	
S12	S02		53	55						54.0	1.4
S12 (RdS Labo)	S02		54							54.0	
S12 (RdS 1)	S02		52							52.0	
S14	S04	54	55	56	55	55	57	55		55.3	1.0
S14 (RdS Labo)	S04				54		54	53		53.7	0.6
S14 (RdS 1)	S04	53	54							53.5	0.7
S14 (Parquet)	S04				56					56.0	
S21	S11	54	53	55		53	54			53.8	0.8
S21 (RdS Labo)	S11					51	51			51.0	0.0
S21 (RdS 1)	S11	53	52							52.5	0.7
S23	S24	52	51							51.5	0.7
S23 (RdS Labo)	S24										
S23 (RdS 1)	S24	48								48.0	
S23	S13	48		54	52					51.3	3.1
S23 (RdS Labo)	S13										
S23 (RdS 1)	S13	45								45.0	
S23 (Parquet)	S13				53					53.0	
S23	S14	54								54.0	
S23 (RdS Labo)	S14										
S23 (RdS 1)	S14	51								51.0	
S24	S13		56	55	54			57		55.5	1.3
S24 (RdS Labo)	S13				52			55		53.5	2.1
S24 (RdS 1)	S13		55							55.0	
S24 (Parquet)	S13				55					55.0	
S11	S12	36	37	36		37				36.5	0.6
S11 (RdS Labo)	S12										
S11 (RdS 1)	S12	35								35.0	
S13	S12	37	36	38	38					37.3	1.0
S13 (RdS Labo)	S12										
S13 (RdS 1)	S12	34								34.0	
S13 (Carrelage)	S12				41					41.0	
S13	S14	45	46	46	46			48		46.2	1.1
S13 (RdS Labo)	S14										
S13 (RdS 1)	S14	40								40.0	
S13 (Carrelage)	S14				47					47.0	
S21	S22	46	37	38						40.3	4.9
S21 (RdS Labo)	S22										
S21 (RdS 1)	S22	35								35.0	
S13	S03							55		55.0	
S13 (RdS Labo)	S03				54					54.0	
S13 (Carrelage)	S03				58					58.0	
S13	S03r				58				58	58.3	0.6
S13 (RdS Labo)	S03r				57			56		56.5	0.7
S13 (Carrelage)	S03r				59			59	58	58.7	0.6
S13 (Parquet)	S03r				59					59.0	
S13+S14 - Poteau encoffré	S03r								58	58.0	
S13+S14 - Poteau encoffré (Carrelage)	S03r								59	59.0	
S23+S24 - Poteau encoffré	S13+S14 - Poteau encoffré				53				52	52.5	0.7
S23+S24 - Poteau apparent	S13+S14 - Poteau encoffré				53				52	52.5	0.7
S23+S24 - Poteau apparent	S13+S14 - Poteau apparent				53					53.0	

Tableau 3 : Récapitulatif de la performance mesurée en termes de niveau de bruit de choc -  $L'_{nT,w}+C_{150-2500}$ .

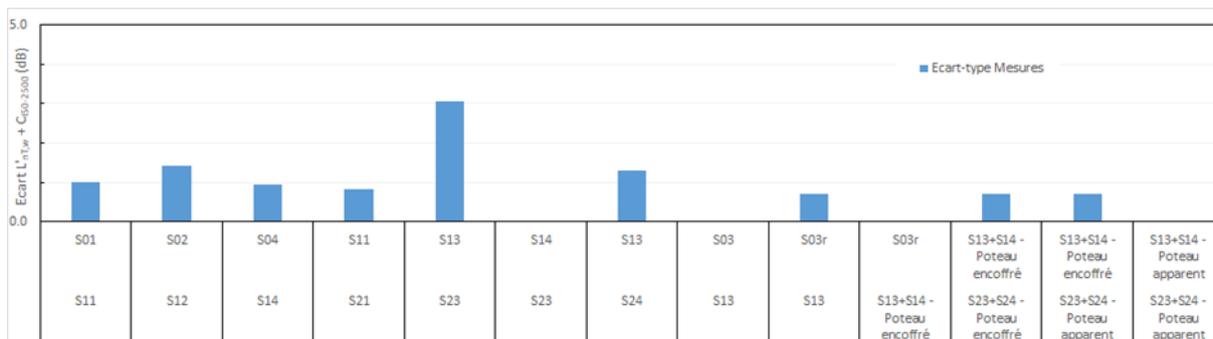
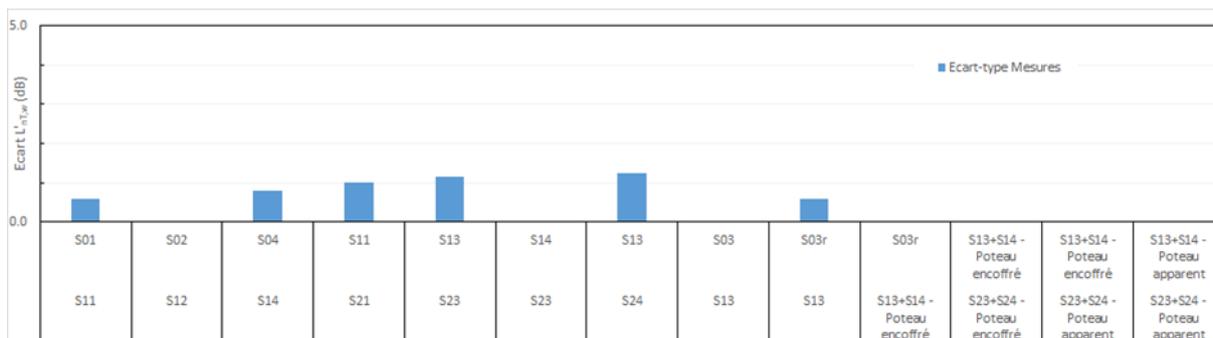


Figure 2 : Ecart-type de mesure et écart entre mesure et prévision pour le niveau de bruit de choc – Direction verticale.

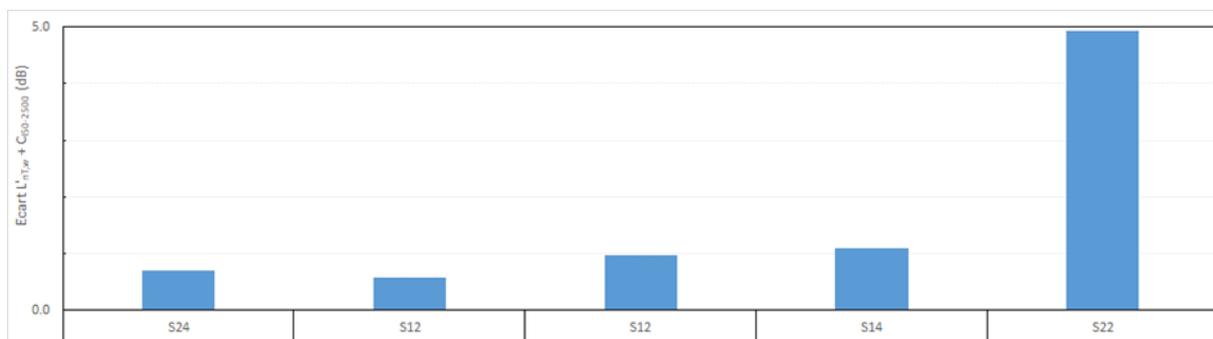
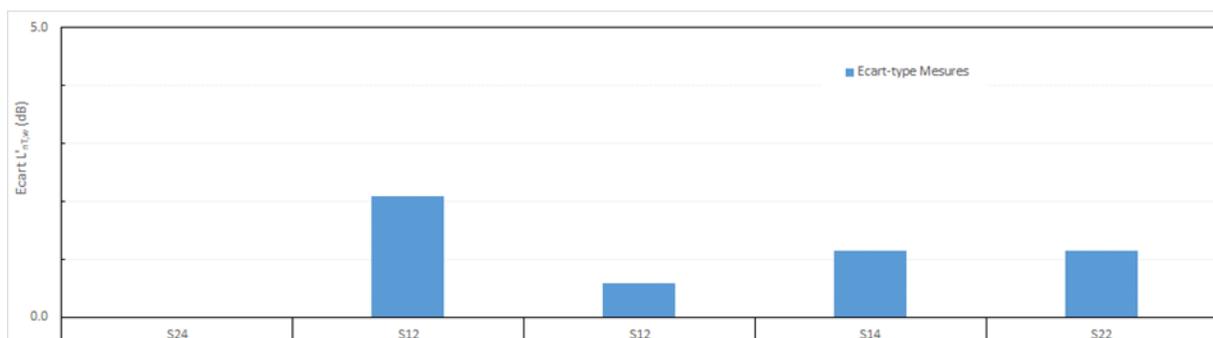


Figure 8.3 : Ecart-type de mesure et écart entre mesure et prévision pour le niveau de bruit de choc – Direction horizontale.

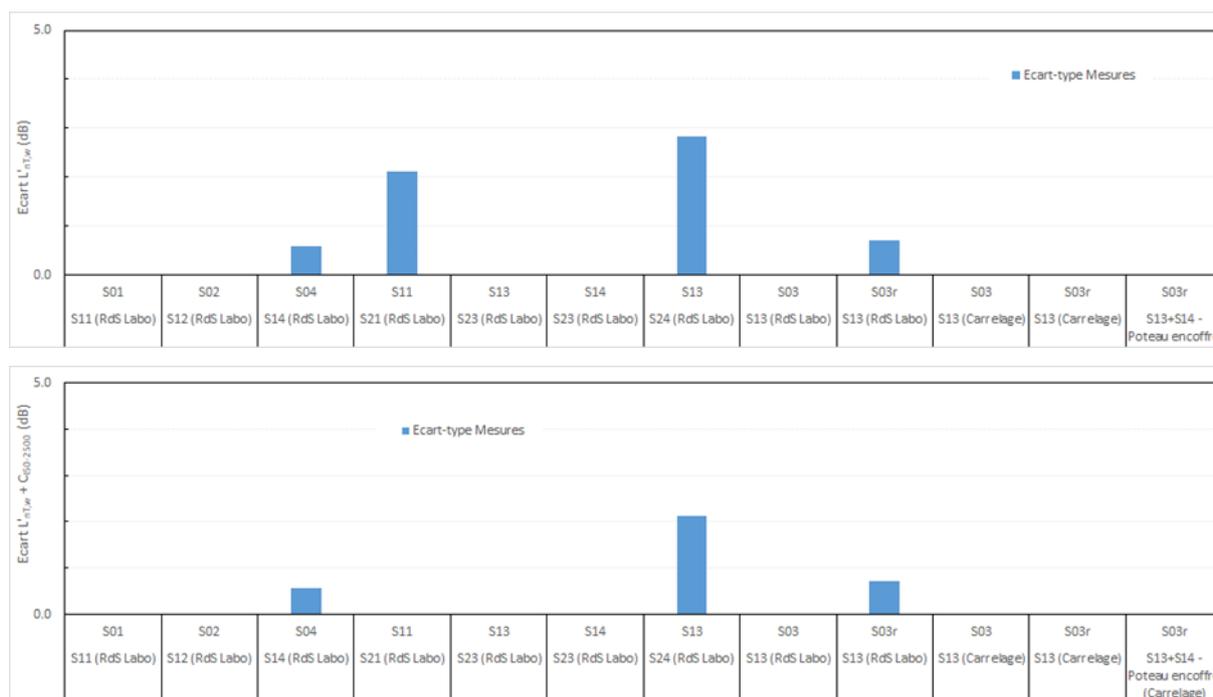


Figure 4 : Ecart-type de mesure et écart entre mesure et prévision pour le niveau de bruit de choc dans la direction verticale - Avec revêtement de sol (RdS Labo ou carrelage).

#### Annexe E : Evaluation de la performance acoustique du bâtiment

Cette partie concerne la prévision de la performance du bâtiment par rapport au niveau de bruit de choc incluant ou pas les basses fréquences. La méthode de calcul est basée sur les normes NF EN ISO 12354-1 et -2 ; elle utilise la performance acoustique des parois (indice d'affaiblissement acoustique, niveau de bruit de choc,...) et les indices d'affaiblissement vibratoire des jonctions entre parois.

Les Tableaux 4 et 5 ci-dessous montrent l'ensemble des résultats obtenus en termes de niveau de bruit de choc. Les résultats en vert indiquent un résultat conforme aux objectifs ( $L'_{nT,w}$  et  $L'_{nT,w} + C_{150-2500} \leq 55$  dB), celle en rose un résultat non conforme. Un fond bleu pour les locaux indique une modification lors de l'étape d'encoffrement. On notera que les seuls dépassements de l'objectif concernent l'indicateur  $L'_{nT,w} + C_{150-2500}$  qui prend en compte les basses fréquences.

La Figure 5 montre la différence en termes d'indice global de performance entre mesure et prévision pour les systèmes sans revêtement de sol : une valeur négative indique que la prévision surévalue le niveau de bruit de choc par rapport à la mesure (valeur moyenne des mesures réalisées). Les écarts entre mesure et prévision sont plus importants pour la transmission horizontale ; cependant celle-ci n'est généralement pas dimensionnante (la performance étant assez faible).

La Figure 6 montre la différence en termes d'indice global de performance entre mesure et prévision en transmission verticale pour les systèmes avec revêtement de sol.

Local d'émission	Local de réception	Mesure HEDONT	Mesure AIDA	Mesure FCBA	Mesure FCBA - après encoffrement	Mesure SINIAT - avec encoffrement	Mesure ACOUSTB - après encoffrement	Mesure AIDA - après encoffrement	Mesure Placo Isover - après encoffrement	Prévision
		$L'_{nT,w}$	$L'_{nT,w}$	$L'_{nT,w}$	$L'_{nT,w}$	$L'_{nT,w}$	$L'_{nT,w}$	$L'_{nT,w}$	$L'_{nT,w}$	$L'_{nT,w}$
S11	S01	52	52				53			53
S11 (RdS Labo)	S01						47			46
S11 (RdS 1)	S01	47								
S12	S02		51	51						53
S12 (RdS Labo)	S02		49							46
S12 (RdS 1)	S02		47							
S14	S04	54	54	53		54	54	54		53
S14 (RdS Labo)	S04				50		51	51		50
S14 (RdS 1)	S04	48	49							
S14 (Parquet)	S04				53					
S21	S11	53	52	52		54	54			53
S21 (RdS Labo)	S11					47	50			46
S21 (RdS 1)	S11	49	48							
S23	S24	51	51							53
S23 (RdS Labo)	S24									48
S23 (RdS 1)	S24	46								
S23	S13	52		52	50					50
S23 (RdS Labo)	S13									47
S23 (RdS 1)	S13	42								
S23 (Parquet)	S13				48					
S23	S14	54								50
S23 (RdS Labo)	S14									47
S23 (RdS 1)	S14	47								
S24	S13		55	53	52			53		50
S24 (RdS Labo)	S13				47			51		47
S24 (RdS 1)	S13		49							
S24 (Parquet)	S13				50					
S11	S12	34	33	31		36				20
S11 (RdS Labo)	S12									17
S11 (RdS 1)	S12	31								
S13	S12	35	34	34	35					31
S13 (RdS Labo)	S12									29
S13 (RdS 1)	S12	31								
S13 (Carrelage)	S12				33					33
S13	S14	49	49	50	48			51		52
S13 (RdS Labo)	S14									44
S13 (RdS 1)	S14	38								
S13 (Carrelage)	S14				50					50
S21	S22	40	38	40						10
S21 (RdS Labo)	S22									8
S21 (RdS 1)	S22	31								
S13	S03							54		53
S13 (RdS Labo)	S03				49					50
S13 (Carrelage)	S03				52					54
S13	S03r				55			54	54	53
S13 (RdS Labo)	S03r				52			51		50
S13 (Carrelage)	S03r				54			54	54	54
S13 (Parquet)	S03r				53					
S13+S14 - Poteau encoffré	S03r								54	
S13+S14 - Poteau encoffré (Carrelage)	S03r								55	
S23+S24 - Poteau encoffré	S13+S14 - Poteau encoffré				50				50	50
S23+S24 - Poteau apparent	S13+S14 - Poteau encoffré				50				50	
S23+S24 - Poteau apparent	S13+S14 - Poteau apparent				50					

 Tableau 4 : Niveau de bruit de choc  $L'_{nT,w}$ .

		Mesure HEDONT	Mesure AIDA	Mesure FCBA	Mesure FCBA - après encoffrement	Mesure SINIAT - avec encoffrement	Mesure ACOUSTB - après encoffrement	Mesure AIDA - après encoffrement	Mesure Placo Isover - après encoffrement	Prévision
Local d'émission	Local de réception	$L'_{nt,w}+C_{150-2500}$	$L'_{nt,w}+C_{150-2500}$	$L'_{nt,w}+C_{150-2500}$	$L'_{nt,w}+C_{150-2500}$	$L'_{nt,w}+C_{150-2500}$	$L'_{nt,w}+C_{150-2500}$	$L'_{nt,w}+C_{150-2500}$		$L'_{nt,w}+C_{150-2500}$
S11	S01	54	53				52			53
S11 (RdS Labo)	S01						50			51
S11 (RdS 1)	S01	53								
S12	S02		53	55						53
S12 (RdS Labo)	S02		54							51
S12 (RdS 1)	S02		52							
S14	S04	54	55	56	55	55	57	55		54
S14 (RdS Labo)	S04				54		54	53		51
S14 (RdS 1)	S04	53	54							
S14 (Parquet)	S04				56					
S21	S11	54	53	55		53	54			54
S21 (RdS Labo)	S11					51	51			51
S21 (RdS 1)	S11	53	52							
S23	S24	52	51							53
S23 (RdS Labo)	S24									49
S23 (RdS 1)	S24	48								
S23	S13	48		54	52					51
S23 (RdS Labo)	S13									48
S23 (RdS 1)	S13	45								
S23 (Parquet)	S13				53					
S23	S14	54								51
S23 (RdS Labo)	S14									48
S23 (RdS 1)	S14	51								
S24	S13		56	55	54			57		51
S24 (RdS Labo)	S13				52			55		48
S24 (RdS 1)	S13		55							
S24 (Parquet)	S13				55					
S11	S12	36	37	36		37				31
S11 (RdS Labo)	S12									13
S11 (RdS 1)	S12	35								
S13	S12	37	36	38	38					34
S13 (RdS Labo)	S12									32
S13 (RdS 1)	S12	34								
S13 (Carrelage)	S12				41					39
S13	S14	45	46	46	46			48		51
S13 (RdS Labo)	S14									43
S13 (RdS 1)	S14	40								
S13 (Carrelage)	S14				47					50
S21	S22	46	37	38						31
S21 (RdS Labo)	S22									30
S21 (RdS 1)	S22	35								
S13	S03							55		54
S13 (RdS Labo)	S03				54					51
S13 (Carrelage)	S03				58					57
S13	S03r				58			59	58	54
S13 (RdS Labo)	S03r				57			56		51
S13 (Carrelage)	S03r				59			59	58	57
S13 (Parquet)	S03r				59					
S13+S14 - Poteau encoffré	S03r								58	
S13+S14 - Poteau encoffré (Carrelage)	S03r								59	
S23+S24 - Poteau encoffré	S13+S14 - Poteau encoffré				53				52	51
S23+S24 - Poteau apparent	S13+S14 - Poteau encoffré				53				52	
S23+S24 - Poteau apparent	S13+S14 - Poteau apparent				53					

Tableau 5 : Niveau de bruit de choc  $L'_{nt,w}+C_{150-2500}$ .

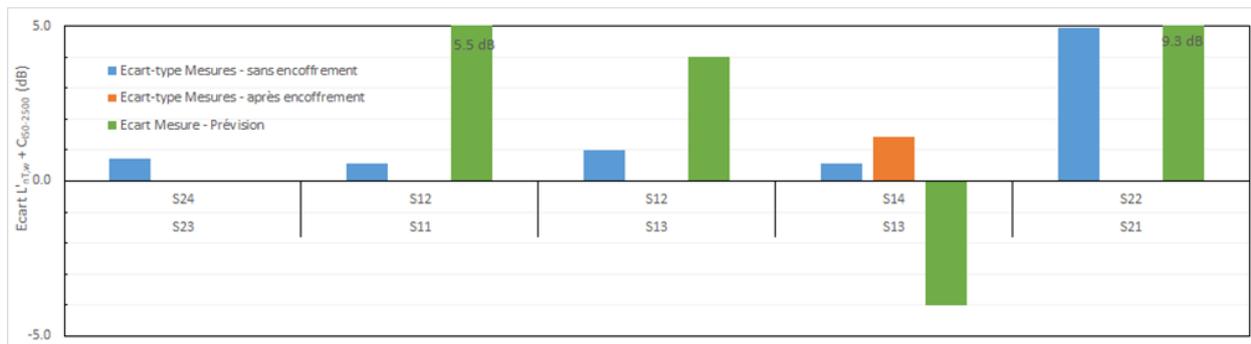
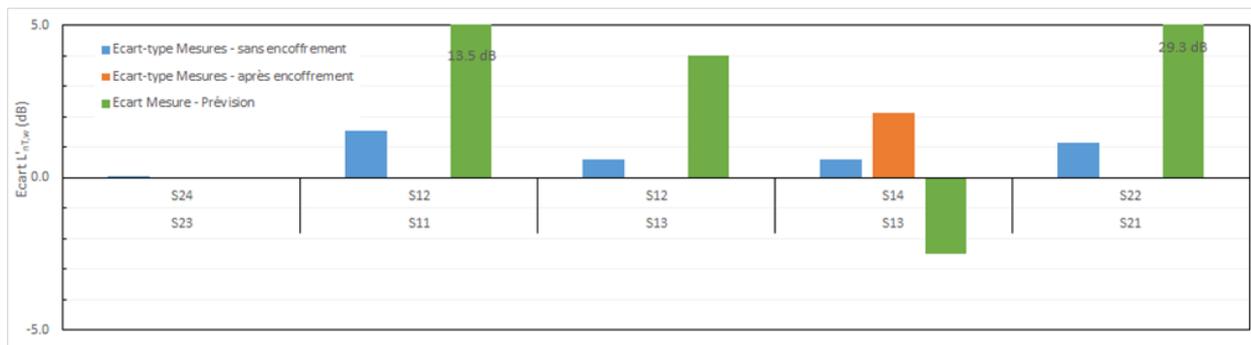
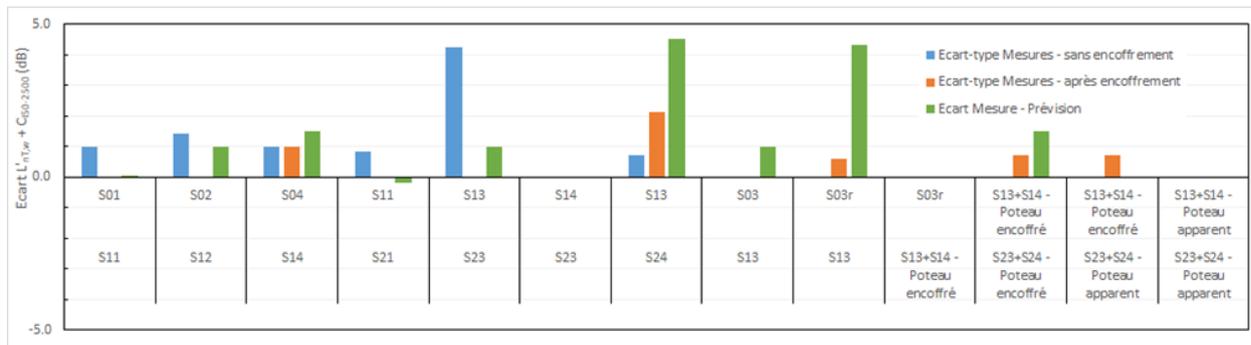
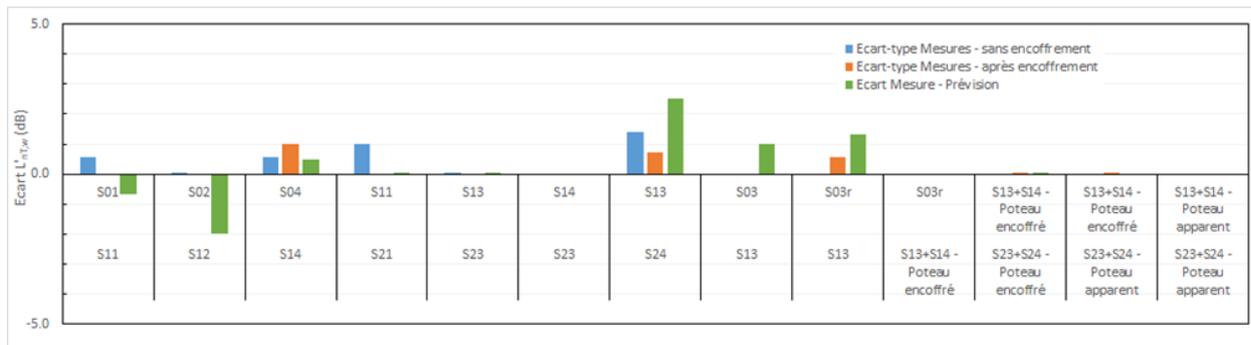


Figure 5 : Ecart entre mesures, et entre mesure et prévision pour les niveaux de bruit de choc (a) et (b) dans la direction verticale et (c) et (d) direction horizontale, sans revêtement de sol.

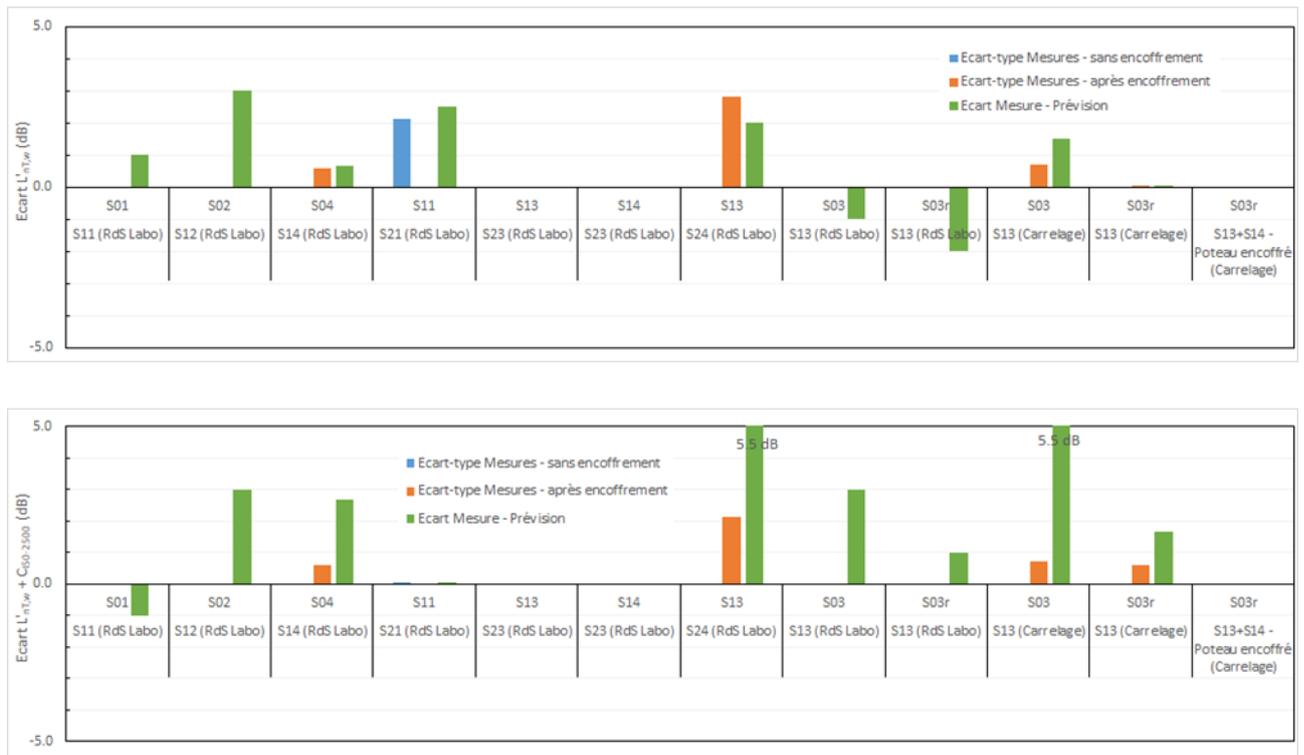


Figure 6 : Ecart entre mesures, et entre mesure et prévision pour les niveaux de bruit de choc dans la direction verticale avec revêtement de sol.

Pour la performance au bruit de choc, les comparaisons prévision – mesure sont meilleures en transmission verticale qu'en transmission horizontale, et pour le plancher CLT avec une sous-face apparence par rapport au plancher CLT avec un plafond suspendu. Pour le plancher avec le plafond suspendu, la performance au bruit de choc en basses fréquences (en dessous du tiers d'octave 100 Hz) prédite est plus faible que celle mesurée.

Finalement, malgré les différences observées entre mesures et prévision, on peut considérer que la méthode de prévision basée sur les normes NF EN ISO 12354-1 et -2 reste relativement pertinente même si elle peut encore être améliorée, notamment en complétant les valeurs d'isolement de jonctions. D'autres mesures pourraient être réalisées dans le but d'évaluer un chemin de transmission à la fois pour vérifier plus finement les différences observées.

## Annexe 2 – GIAC - Méthodologie de prise en compte de l'acoustique dans la conception des bâtiments

Cette annexe communiquée par le GIAC, décrit le contenu nécessaire des missions d'ingénierie acoustique. Il y est détaillé l'ensemble des tâches à effectuer par l'acousticien en tant que co-traitant ou sous-traitant d'une équipe d'ingénierie qui intègre au minimum une compétence en architecture, en structure, en fluides, en économie.

La mission dévolue à l'acousticien a pour objet l'étude prévisionnelle et l'optimisation technico-économique dans les domaines suivants de l'acoustique :

- acoustique interne des locaux,
- isolement aux bruits aériens intérieurs entre les différents types de locaux,
- isolement aux bruits de chocs entre les différents types de locaux,

- bruits des équipements techniques émis dans le bâtiment (chauffage, ventilation, climatisation, sanitaires, électricité, ascenseurs, ...),
- isolement des façades et toitures aux bruits de l'environnement extérieur (trafic routier, aérien),
- isolement des façades pour la protection du voisinage (uniquement dans le cas de locaux bruyants type salle de spectacles par exemple) ;
- limitation de la propagation du bruit des équipements techniques dans le voisinage ;
- le cas échéant vibrations.

## **Études de diagnostic – DIAG (uniquement dans le cas d'un bâtiment en réhabilitation)**

### Tâches

- Prise de connaissance du programme.
- Visite du ou des bâtiments et de l'environnement.
- Analyse des informations et des exigences fournies par le Maître d'Ouvrage :
  - o données techniques et architecturales relatives aux bâtiments existants,
  - o caractérisation acoustique et vibratoire du site ;
- Particularités acoustiques et vibratoires du programme, (définition de l'usage des locaux, exigences fonctionnelles, contractuelles et réglementaires, ...);
- Établissement d'une liste d'informations et de données complémentaires éventuelles à fournir par le Maître d'Ouvrage.
- Établissement du cahier des charges en vue de la réalisation des mesures acoustiques et / ou vibratoires et sondages complémentaires éventuels.
- Analyse et exploitation de l'ensemble des données fournies.
- Recherche si non fournis des classements des voies terrestres et zones de PEB ;
- Mise en adéquation des principes acoustiques généraux et de l'esquisse architecturale et technique.
- Vérification de la faisabilité acoustique de l'opération au regard des différentes contraintes du programme et du site.
- Ajustement du programme acoustique si nécessaire.

### Document

Rédaction d'une note acoustique récapitulant les données obtenues les conclusions et solutions techniques envisageables à intégrer à la notice architecturale, environnementale et technique.

## **Esquisse – ESQ**

### Tâches

- Prise de connaissance du programme.
- Visite du site.
- Analyse des informations et des exigences fournies par le Maître d'Ouvrage :
  - o caractérisation acoustique et vibratoire du site ;
  - o Particularités acoustiques du programme, (définition de l'usage des locaux, exigences fonctionnelles, contractuelles et réglementaires, ...);
- Recherche si non fournis des classements des voies terrestres et zones de PEB ;

- Établissement d'une liste d'informations et de données complémentaires éventuelles à fournir par le Maître d'Ouvrage.
- Mise en adéquation des principes acoustiques généraux et de l'esquisse architecturale et technique.
- Vérification de la faisabilité acoustique de l'opération au regard des différentes contraintes du programme et du site.
- Proposition d'ajustement du programme acoustique si nécessaire.

#### Document

Rédaction d'une note acoustique récapitulant les objectifs visés et les grandes lignes techniques à intégrer à la notice architecturale, environnementale et technique.

### **Études d'avant-projet sommaire (APS)**

#### Tâches

- Participation à la conception du projet (localisation des locaux, géométrie, principes de structure et des équipements, etc...).
- Élaboration des principes généraux acoustiques à prendre en compte pour :
  - o la constitution de l'enveloppe du bâtiment ;
  - o la constitution des parois intérieures (pour les bruits aériens et les bruits de chocs) ;
  - o le traitement des bruits des équipements et installations techniques ;
  - o la protection vibratoire ;
  - o l'acoustique interne (propagation, réverbération, diffusion, absorption, intelligibilité).

#### Document

Rédaction d'une notice acoustique APS comportant :

- le rappel des exigences du programme acoustique et ses adaptations éventuelles ;
- le contexte réglementaire et contractuel ;
- le détail des performances acoustiques visées (objectifs le cas échéant différence par rapport aux exigences et adaptation et exigences issus du programme, de la réglementation, de notre propre expérience et, le cas échéant, de la mise au point en Diag ou en Esq) ;
- la description des principes acoustiques généraux.

### **Études d'avant-projet définitif – APD**

#### Tâches

- Assistance à la mise au point des plans architecturaux.
- Analyse des contraintes techniques à prendre en compte et mise au point des solutions compatibles avec les exigences acoustiques :
  - o plans d'architecte (position des locaux, contiguïtés, surface, volumétrie, épaisseurs, ...);
  - o économie du projet ;
  - o structure (surcharges à respecter, etc. ...);

- équipements et installations techniques (type d'appareils, techniques employées, implantation, passages de gaines et canalisations, etc. ...);
  - esthétique, décoration ;
  - isolation thermique ;
  - usage des locaux ;
  - données relatives au développement durable.
- Calculs acoustiques de dimensionnement de l'ensemble des ouvrages, notamment modélisation 3D afin de calculer les critères pertinents tels que RASTI (intelligibilité), Définition, Clarté, Tr (durée de réverbération), décroissance spatiale, ...
  - Mise au point de l'ensemble des aspects acoustiques du projet.
  - Présentation des solutions envisagées et des caractéristiques techniques des matériaux.
  - Détermination des principes acoustiques généraux à appliquer aux équipements et installations acoustiques à respecter.
  - Participation aux réunions d'étude dont l'ordre du jour est spécifiquement acoustique.

### Document

Rédaction d'une notice acoustique APD comportant :

- la proposition de mise à jour du programme acoustique en fonction des différentes contraintes si nécessaire ;
- le contexte réglementaire et contractuel ;
- le détail des performances acoustiques recherchées ;
- le détail des caractéristiques acoustiques visées pour les matériaux et les systèmes; la description des solutions techniques retenues.

### **Études de projet – Pro**

#### Tâches

- Assistance à la mise au point des plans et détails d'architecte.
- Ajustement des ouvrages, systèmes et matériaux.
- Calculs de validation définitifs or bruits des équipements.
- Description des dispositions constructives comprenant :
  - nature et caractéristiques des ouvrages, systèmes et matériaux ;
  - principes de mise en œuvre spécifiques ;
  - repérage et localisation.
- Analyse des données relatives aux équipements et installations techniques, et préconisations, comprenant :
  - principes et prédimensionnements des traitements acoustiques et vibratoires ;
  - conditions de mise en œuvre.
- Assistance au contrôle de la cohérence entre le CCTP acoustique et les CCTP de l'ensemble des lots.

### Document

Rédaction d'une notice ou d'un CCTP acoustique comportant :

- les engagements des entrepreneurs ;
- les objectifs et exigences acoustiques ;

- la liste des mesures acoustiques d'autocontrôle demandées et leur méthodologie ;
- les documents et calculs d'exécution à fournir ;
- les caractéristiques acoustiques imposées pour chaque élément de la construction ;
- les exigences de mise en œuvre et de constitution ;
- les contraintes liées aux interfaces entre lots.

### **Assistance au choix des entreprises – ACT**

#### Tâches

- Assistance à l'analyse des offres par l'analyse des réponses techniques acoustiques.

#### Document

Rédaction de notes d'analyse.

### **VISA des études d'exécution – VISA**

#### Tâches

- Examen du projet sous l'aspect acoustique avec les entreprises. Confirmation des exigences acoustiques imposées, des justificatifs ou des notes de calcul à fournir, et des mesures d'auto-contrôle à réaliser par chaque entreprise.
- Examen de la conformité au CCTP acoustique des documents fournis par les entreprises :
  - o notes de calcul acoustiques ;
  - o rapports d'essais acoustiques ;
  - o documents ayant pour objet l'acoustique.
- Examen des caractéristiques acoustiques des matériels et matériaux pour lesquels des performances sont demandées,
- Assistance à l'arbitrage relatif au choix des matériels et matériaux et aux éventuelles variantes proposées par les entreprises.

#### Document

Rédaction d'Avis.

Établissement d'un état des approbations et observations sur les documents examinés.

### **Études d'exécution – Exé**

#### Tâches

- Participation à l'élaboration des plans de gros-œuvre :
  - o coffrage béton
  - o maçonnerie
  - o ...
- Participation à l'élaboration des détails d'exécution des lots de second-œuvre :
  - o couverture
  - o menuiseries extérieures
  - o menuiseries intérieures
  - o cloisonnements, doublages

- plafonds suspendus
- chapes et revêtements de sols
- ...
- Participation à l'élaboration du dimensionnement des réseaux de ventilation pour les caractéristiques acoustiques :
  - atténuation des gaines, des silencieux,
  - vitesses d'air dans les différentes parties des réseaux,
  - niveaux sonores maximums des équipements,
  - régénération des bouches, diffuseurs, grilles, ...
  - ...

#### Document

Rédaction de notes de calcul, et résumé des résultats.

### **Suivi de l'exécution des travaux – DET**

#### Tâches

- Visite de chantier et participation aux réunions de chantier quand cela est nécessaire,
- Examen des documents complémentaires à produire par les entreprises, en application de leur contrat.
- Vérification de la conformité et de la mise en œuvre des matériels et matériaux, pour lesquels des performances acoustiques sont demandées dans le CCTP acoustique.
- Assistance à l'adaptation du projet décrit dans le CCTP acoustique avec la réalisation.
- Suivi de l'évolution du chantier entre les visites (examen des comptes-rendus de réunions de chantier et assistance téléphonique).
- Examen des mesures acoustiques d'auto-contrôle fournies par les entreprises.

#### Document

Rédaction de comptes-rendus d'observations si nécessaire.

### **Assistance aux Opérations de Réception – AOR**

#### Tâches

- Validation visuelle par sondages des caractéristiques acoustiques des ouvrages et installations.
- Si prévu au contrat : mesures acoustiques de vérification. Attention, ces mesures font l'objet, la plupart du temps d'une mission spécifique.
- Assistance au suivi de la levée des réserves.

#### Document

Établissement de la liste des réserves d'ordre acoustique.

Le cas échéant, rédaction d'un rapport de réception situant les résultats par rapport aux objectifs.

## 2. INDICATEURS POUR L'ÉCLAIRAGE

### 2.1. Documents de référence

On liste ci-dessous les documents de référence ayant un impact sur la dimension visuelle de la qualité des environnements intérieurs (QEI) dans les domaines suivants : éclairage électrique, éclairage naturel, ergonomie visuelle, exposition lumineuse, système de contrôle de l'éclairage naturel, système de contrôle de l'éclairage électrique.

#### 2.1.1. Réglementations

Référence	Intitulé	Application
Articles R4213-1 à 4 Créé par Décret n°2008244 du 7 mars 2008	Code du travail Obligation du maître d'ouvrage	Tertiaire et industrie
Article R4223-1 à 12 Créé par Décret n°2008244 du 7 mars 2008	Code du travail Obligation employeur	Tertiaire et industrie
Décret n°2015-1083 du 27 août 2015, transposition de la Directive Basse Tension 2014/35/UE	Sécurité des produits d'éclairage	Lampes et luminaires
Réglementation environnementale des bâtiments neufs RE 2020 Règle TH-BCE 2020 et ThBat 2020	Réglementation française bâtiments neufs	Tous les bâtiments
RT par élément "RT rénovation" Arrêté tertiaire du 3 mai 2007, modifié en 2017	Exigences d'éclairage artificiel pour la rénovation de locaux tertiaires	Rénovation tous bâtiments Tertiaire, industrie et parties communes en bâtiment d'habitation collectif
Arrêté du 8 décembre 2014 fixant les dispositions prises pour l'application des articles R. 111-19-7 à R. 111-19-11 du code de la construction et de l'habitation et de l'article 14 du décret n° 2006-555 relatives à l'accessibilité aux personnes handicapées des ERP situés dans un cadre bâti existant et des IOP	Article 14 Dispositions relatives à l'éclairage.	Tertiaire et résidentiel
Règlement européen écoconception des lampes et luminaires EU 2019/2020 et règlement européen étiquetage énergie des lampes et luminaires EU 2019/2015	Exigences de performances des lampes et luminaires	Lampes et luminaires
Arrêté du 27/12/2018 « limitation des nuisances lumineuses »	Exigences de limitation des nuisances lumineuses de l'éclairage extérieur	Luminaires extérieurs Bâtiments tertiaires et résidentiels
Règlement sanitaire départemental type de 1978	Exigences générales pour les locaux d'hébergement collectif	Résidentiel collectif

## 2.1.2. Normes

Référence	Intitulé	Application
Norme NF EN 12464-1	Norme européenne Éclairage des lieux de travail intérieur	Tertiaire et industrie
Norme NF EN 12193	Norme européenne Éclairage des installations sportives	Tertiaire / sport
Norme NF EN 15193-1 et FD CEN TR 15193-2	Norme européenne de performances énergétique de l'éclairage électrique dans le bâtiment	Tertiaire et industrie
Norme NF EN 17037	Norme européenne Éclairage naturel des bâtiments	Tertiaire et résidentiel
Norme NF EN 410	Norme européenne Détermination des caractéristiques lumineuses et solaires des vitrages	Tertiaire, industrie et résidentiel
Norme NF EN 14501 (classification) Norme NF EN 14500 (calculs et essais)	Norme européenne Fermetures et stores. Confort thermique et lumineux. Caractérisation des performances et classification	Tertiaire, industrie et résidentiel
Norme NF X35-103	Norme française Ergonomie visuelle	Tertiaire et industrie
Norme NF EN 16798-1 et FD CEN 16798-2	Norme européenne Données d'entrées d'ambiance intérieure pour la conception et l'évaluation de la performance énergétique des bâtiments couvrant la qualité de l'air intérieur, l'ambiance thermique, l'éclairage et l'acoustique	Tertiaire et résidentiel
Norme NF EN 62471	Norme européenne Sécurité photobiologique des lampes et des appareils utilisant des lampes	Lampes et luminaires
CIE S026	System for Metrology of Optical Radiation for ipRGC-Influenced Responses to Light Norme définissant les indicateurs d'exposition à la lumière agissant sur le rythme circadien	Tertiaire et résidentiel

## 2.1.3. Référentiels de certification et labels

Référence	Intitulé	Application
HQE B v1.0 et BD v4.0 Thème confort visuel VISU1 VISU2	Référentiels de certification HQE Bâtiment	Tertiaire
NF Habitat et NF Habitat HQE Construction maison & collectif Rénovation maison Rénovation appartement Cibles CV	Référentiels de certification Maison et Appartements	Résidentiel
OsmoZ	Référentiel de certification de la qualité de vie au travail	Tertiaire

BREEAM Cible HEA 01 confort visuel Cible POL04 pollution lumineuse	Référence de certification	Tertiaire
WELL Building Standard™ version 2 (WELL v2™) Cibles "LIGHT" L01 à L09	Référentiel de certification QEI	Tertiaire
HQE B v1.0 et BD v4.0 Thème confort visuel VISU1 VISU2	Référentiels de certification HQE Bâtiment	Tertiaire

### 2.1.4. Recommandations sanitaires

Référence	Intitulé	Application
Rapport Anses LED de 2019	AVIS et RAPPORT de l'Anses relatif aux effets sur la santé humaine et sur l'environnement (faune et flore) des systèmes utilisant des diodes électroluminescentes (LED)	Tertiaire, résidentiel, luminaires
Rapport SCHEER de 2018	SCHEER. "Opinion on Potential Risks to Human Health of Light Emitting Diodes (LEDs)." Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks (SCHEER). Luxembourg: European Union, June 6, 2018.	Tertiaire, résidentiel, luminaires
Recommendations for daytime, evening, and nighttime indoor light exposure to best support physiology, sleep, and wakefulness in healthy adults, Brown et al. 2022, Plos Biology	Recommandation internationale d'exposition à la lumière pour maintenir la régulation du rythme circadien	Tertiaire et résidentiel

## 2.2. Indicateurs existants

Les indicateurs d'éclairage, de confort visuel et de lumière sont très nombreux. Ils couvrent en premier lieu les besoins de lumières nécessaires pour effectuer les tâches visuelles en continu pendant toute une journée de travail sans effets indésirables immédiats ou différés (dimension fonctionnelle de l'éclairage). Les indicateurs d'éclairage couvrent également la notion plus large de QEI en prenant en compte les besoins physiologiques et psychologiques des occupants qu'ils n'expriment pas forcément. Il s'agit de quantifier la contribution de la lumière au bien-être, à l'état d'éveil, à l'humeur, au maintien des performances cognitives tout au long de la journée. Ces contributions s'appuient sur les connaissances acquises ces vingt dernières années sur le rôle joué par la lumière au-delà des fonctions visuelles, notamment sur la régulation de l'horloge biologique et le maintien d'un rythme circadien en phase avec les activités journalières. La Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) a ainsi défini la notion « d'éclairage intégratif » qui doit assurer la vision d'une part et, d'autre part, couvrir les besoins en lumière nécessaire au bien-être et la santé, à tous les âges de la vie.

La lumière venant à la fois de l'éclairage naturel et des installations d'éclairage électrique, il y a deux disciplines différentes qui possèdent chacune leur propre corpus normatif et réglementaire ainsi que leurs propres exigences de certification. L'éclairage naturel est fortement lié à la conception du bâtiment, et notamment à celle de son enveloppe. L'éclairage électrique dépend quant à lui des choix d'équipements qui interviennent après la conception du bâti.

La notion de qualité visuelle des environnements intérieurs intègre aussi une dimension importante de contrôle de l'ambiance visuelle par les occupants. Cette notion est présente dans la plupart des textes normatifs, réglementaires ainsi que dans toutes les certifications de bâtiments. La lumière naturelle varie au cours de la journée et au cours de l'année, avec la position du soleil et la météo locale. L'éclairage électrique doit pouvoir s'adapter ou être adapté par les occupants pour compenser ces variations. Par ailleurs, les occupants des locaux exigent de pouvoir modifier les éclairages naturels et artificiels selon l'activité qu'ils poursuivent. Par exemple, le travail sur écran nécessite un contrôle précis des contrastes dans le champ visuel. L'utilisation d'un vidéoprojecteur ou d'un tableau numérique nécessite quant à elle de baisser fortement la luminosité ambiante en agissant à la fois sur l'éclairage naturel et l'éclairage électrique. Il existe donc une famille d'indicateurs liés aux systèmes de contrôle de l'éclairage naturel et de l'éclairage électrique. Souvent, ces deux familles d'équipements sont conçues, posées, vérifiées et utilisées de manière tout à fait indépendante, générant ainsi des problèmes d'inter-compatibilité, néfastes au confort visuel.

### 2.2.1. Catégories des indicateurs existants

- Indicateurs d'éclairage artificiel
- Indicateurs d'éclairage naturel
- Indicateurs « toute lumière »
- Indicateurs de contrôle des ambiances visuelles
- Indicateurs de consommation énergétique impactés par la QEI

### 2.2.2. Définition des enjeux

#### Enjeu Fort :

- Indicateur associé à un effet sanitaire avéré de la lumière dont l'impact est immédiat
- Indicateur à spécifier pour pouvoir effectuer les tâches visuelles habituellement associées à l'usage du local considéré

#### Enjeu Moyen :

- Indicateur associé à l'ergonomie et au confort visuels permettant de garantir que les tâches visuelles peuvent être effectuées pendant une journée de travail de 8 heures
- Indicateur associé à l'éveil, à la vigilance, aux performances cognitives et au sommeil.

#### Enjeu Faible :

- Indicateur lié aux préférences esthétiques des usagers
- Indicateur mal adapté à la QEI
- Indicateur lié uniquement à la consommation énergétique
- Indicateur qui ne quantifie pas directement la QEI

### 2.2.3. Liste des indicateurs existants en éclairage électrique

	Seuil existant Oui/Non Si oui : référence majeure	Application Résidentiel / Tertiaire / Luminaire	Fiabilité	Enjeux Fort/Moyen/Faible
Eclairage minimal des locaux	Oui Réglementaire code du travail	Tertiaire	Fiable	Faible (mal adapté à la QEI)
Eclairage moyen de lumière électrique à maintenir sur le plan de travail ou dans tout le local	Oui Normatif NF EN 12464-1	Tertiaire	Fiable	Fort (impératif pour effectuer les tâches visuelles habituelles)
Uniformité de l'éclairage artificiel autour du plan de travail ou dans tout le local	Oui Normatif NF EN 12464-1	Tertiaire	Fiable	Moyen (important pour garantir le confort visuel pendant plusieurs heures)
Indice d'éblouissement UGR des luminaires	Oui Normatif NF EN 12464-1	Tertiaire	Fiable	Moyen (nécessaire pour le confort pendant 8h)
Déviations colorimétriques Duv des luminaires	Oui Réglementaire EU Ecodesign	Luminaire	Fiable	Faible (esthétique pour la cohérence entre différents luminaires de même CCT)
Température de couleur ou cohérence des températures de couleur entre locaux	Non Normatif	Tertiaire, résidentiel, luminaire	Fiable	Faible (esthétique, cohérence entre différents locaux)
Indice de rendu de couleur (fidélité) des luminaires (Ra ou Rf)	Oui Réglementaire EU Ecodesign	Tertiaire, résidentiel, luminaire	Fiable	Fort (facteur important de performances visuelles et de qualité de la lumière)
Indice de rendu de couleur de "gamut" des luminaires (R9 ou Rg)	Oui Réglementaire EU Ecodesign	Tertiaire, résidentiel, luminaire	Fiable	Faible sauf activités professionnelles spécifiques
Eclairage cylindrique (ou dans le plan de l'œil)	Oui Normatif NF EN 12464-1	Tertiaire	Peu fiable Directions du regard et positions de la tête mal définies	Moyen (visibilité du visage des usagers)
Modulation temporelle : papillotement Indice PstLM	Oui Réglementaire EU Ecodesign	Tertiaire, résidentiel	Fiable	Fort (effets sanitaires immédiats : photoépilepsie, migraines, malaises)
Modulation temporelle : effets stroboscopiques indice SVM	Oui Réglementaire EU Ecodesign	Tertiaire, résidentiel	Fiable	Fort (risque d'accidents et inconfort visuel avéré)

Groupe de risque photobiologique des luminaires (risque de la lumière bleue pour la rétine)	Oui Réglementaire EU Directive BT	Tertiaire, résidentiel	Fiable	Moyen (population générale) : risques pour la rétine en exposition prolongée Fort (populations sensibles, dont enfants) risques pour la rétine en exposition courte
---	--	---------------------------	--------	--

### 2.2.4. Liste des indicateurs existants en éclairage naturel

	Seuil existant Oui/Non	Application	Fiabilité	Enjeux Fort/Moyen/Faible
Accès à la lumière du jour	Oui Réglementaire RE 2020 Code du travail	Tertiaire	Fiable	Faible (impact indirect sur la QEI) indicateur pas suffisant du tout
Transmission lumineuse du vitrage	Oui Réglementaire RE 2020	Tertiaire	Fiable	Faible (impact indirect sur la QEI) Indicateur non relié directement à la perception humaine
Indice de rendu de couleur Ra de la lumière naturelle transmise par le vitrage	Non Norme NF EN 410	Tertiaire	Fiable	Faible (impact indirect sur la QEI).
Performances des protections solaires : assombrissement	Oui Normatif NF EN 14501	Tertiaire	Fiable	Faible (impact indirect sur la QEI) Indicateur non relié directement à la perception humaine
Performances des protections solaires : classe de limitation de l'éblouissement	Oui Normatif NF EN 14501	Tertiaire	Fiable	Fort (impact direct sur la QEI)
Performances des protections solaires : classe d'intimité de nuit	Oui Normatif NF EN 14501	Résidentiel	Fiable	Faible (impact indirect sur la QEI)
Performances des protections solaires : classe de contact visuel avec l'extérieur	Oui Normatif NF EN 14501	Tertiaire	Fiable	Faible (impact indirect sur la QEI)
Performances des protections solaires : transmission diffuse	Oui Normatif NF EN 14501	Tertiaire	Fiable	Faible (impact indirect sur la QEI) Indicateur non relié directement à la perception humaine
Performances des protections solaires : indice de rendu de	Non Normatif	Tertiaire	Faible	Faible (impact indirect sur la QEI)

couleur Ra de la lumière transmise	NF EN 14501			
Facteur de réflexion et/ou couleurs plafond/sol/murs	Oui Labels	Tertiaire	Fiable	Faible (impact indirect sur la QEI) Agit sur le facteur de lumière du jour et l'autonomie en lumière naturelle.
Ratio baies vitrées par rapport à la surface au sol (Règle des 1/6 dans les logements)	Oui Réglementaire RE 2020	Résidentiel	Fiable	Faible (impact indirect sur la QEI) Relié de manière indirecte à la perception humaine de la luminosité naturelle
Eclairage naturel dans le local	Non	Résidentiel, Tertiaire	Pas fiable Dépend de la position du soleil et de la météo.	Fort (impact direct sur la perception de la luminosité naturelle, le bien-être et la qualité de l'ambiance)
Uniformité de l'éclairage naturel	Oui Label BREEAM	Résidentiel, tertiaire	Pas fiable Varie tout le temps	Faible Peu pertinent pour traduire la qualité de l'éclairage naturel.
Facteur de lumière du jour dans un local	Oui Normatif NF EN 17307 Labels	Résidentiel, tertiaire	Fiable car indépendant de la position du soleil et de la météo.	Fort Impact direct sur la perception de la luminosité naturelle
Autonomie en lumière du jour d'un local	Oui Normatif NF EN 17037	Tertiaire	Fiable Intègre les variations de position du soleil et de climat local	Fort Traduit le maintien de l'éclairage naturel durant l'année à un certain niveau donné, sur une certaine portion de la surface d'un local
Vue sur l'extérieur (Oui/Non)	Oui Normatif NF 17037	Tertiaire, résidentiel	Fiable	Fort Très important pour le repos des yeux et le bien-être
Vue sur le ciel	Oui Label BREEAM	Tertiaire, résidentiel	Fiable	Faible Peu d'étude sur les effets bénéfiques de la vue sur le ciel dans un local
Qualité de la vue sur l'extérieur (angle de vue, distance de vue, type de paysage visible)	Oui Normatif NF EN 17037	Tertiaire, résidentiel	Peu fiable	Faible (préférence esthétique)
Pénétration du soleil direct à certains moments de la journée ou de l'année	Oui Normatif NF EN 17037	Tertiaire, résidentiel	Fiable	Faible (effets esthétiques du soleil direct qui produit des effets lumineux intéressants, brise la

				monotonie d'un éclairage uniforme)
Indice DGP d'éblouissement par les baies	Oui Normatif NF EN 17037	Tertiaire	Fiable	Fort Traduit la probabilité d'éblouissement par les baies le long d'une année entière.
Présence de protections solaires (fixes ou mobiles) ou autre moyen de lutte contre l'éblouissement	Oui Normatif NF EN 17037	Tertiaire, résidentiel	Fiable	Fort Elément fondamental pour le confort visuel

### 2.2.5. Liste des indicateurs existants concernant le contrôle des ambiances visuelles

	Seuil existant Oui/Non	Application	Fiabilité	Enjeux Fort/Moyen/Faible
Mécanisme de mise en place et d'ajustement des protections solaires : manuelle, automatique, ou inexistant	Oui Label HQE	Tertiaire	Fiable	Moyen Utile pour préserver le confort visuel au cours d'une journée de 8 h (la position du soleil varie au cours de la journée)
Dispositifs d'allumage, d'extinction et de gradation de l'éclairage électrique <b>Allumage</b> : manuel ou automatique par détection de présence, ou horloge GTB <b>Extinction</b> : manuelle, automatique par détection d'absence, ou horloge GTB <b>Gradation</b> : manuelle, automatique par détection de luminosité, ou inexistant	Oui RT par élément Label HQE	Tertiaire	Fiable	Détection de présence : enjeu faible pour la QEI (économies d'énergie) Gradation : enjeu moyen Utile pour optimiser l'éclairage électrique selon les différents usages et selon la luminosité naturelle au cours d'une journée de 8 h.

## 2.2.6. Liste des indicateurs existants "toute lumière"

	Seuil existant Oui/Non	Application	Fiabilité	Enjeux Fort/Moyen/Faible
Indicateur d'exposition circadienne m-EDI	Oui Normatif CIE S026	Tertiaire, résidentiel	Fiable	Moyen Utile pour quantifier l'exposition lumineuse reçue tout au long d'une journée de 8 heures
Rapport des luminances dans le local	Oui Normatif NF EN 12464-1 NF X 35-103	Tertiaire	Peu fiable car les contrastes varient énormément selon la lumière naturelle (position du soleil, météo, heure de la journée). Nécessite des préconisations de mesures non existante	Moyen Agit sur l'éblouissement et le confort visuel au cours d'une journée

## 2.2.7. Liste des indicateurs existants concernant la consommation énergétique de l'éclairage (hors-sujet QEI mais potentiellement impactés par la QEI)

	Seuil existant Oui/Non	Application	Fiabilité	Enjeux Fort/Moyen/Faible
Consommation énergétique annuelle de l'éclairage électrique (LENI en kWh/m <sup>2</sup> /an)	Non	Tertiaire	Fiable	Faible (énergie)
Efficacité lumineuse des lampes et luminaires (lumen par watt)	Oui Réglementaire EU Ecodesign	Luminaire	Fiable	Faible (énergie)
Densité de puissance d'éclairage électrique installée dans un local (W/m <sup>2</sup> pour 100 lx d'éclairage moyen)	Oui Réglementaire Arrêté du 3 mai 2007	Tertiaire	Fiable	Faible (énergie)

## 2.3. Méthodes d'évaluation des indicateurs et niveau d'expertise requis

### 2.3.1. Type d'évaluation

- Calcul / Logiciel
- Mesure physique avec un appareil de photométrie
- Inspection visuelle
- Relevé dimensionnel
- Autre type d'évaluation à préciser

### 2.3.2. Niveau d'expertise

- Fort : nécessite un niveau ingénieur et une formation en éclairage et photométrie
- Moyen : nécessite un niveau technicien et une formation en éclairage et photométrie
- Faible : nécessite un niveau technicien sans formation en éclairage ou photométrie

## 2.4. Analyse des indicateurs fiables et à enjeu fort

Les 8 indicateurs fiables à enjeux forts sont les suivants :

1. Eclairage moyen (lumière électrique) à maintenir sur le plan de travail
2. Indice de rendu de couleur (fidélité) des luminaires (Ra ou Rf)
3. Modulation temporelle : papillotement et effets stroboscopiques
4. Groupe de risque photobiologique des luminaires pour les populations sensibles (dont les enfants)
5. Autonomie en lumière du jour d'un local
6. Vue sur l'extérieur (Oui/Non)
7. Indice DGP d'éblouissement par les baies
8. Présence de protections solaires (fixes ou mobiles) ou autre moyen de lutte contre l'éblouissement

### 2.4.1. Eclairage moyen de lumière artificielle sur le plan de travail ou dans le local

Phase	Evaluation <sup>1</sup>	Enjeux Fort/Moyen/Faible	Niveau d'expertise Fort/Moyen/Faible
<b>Conception</b>	Simulation numérique écl. élec. (logiciel) sur la base des spécifications des fabricants de luminaire et des plans 3D	FORT	FORT
<b>Exécution</b>	Non applicable	Non applicable	Non applicable
<b>Réception</b>	Mesures au luxmètre	FORT	MOYEN
<b>Exploitation</b>	Mesures au luxmètre	FORT	MOYEN

### 2.4.2. Indice de rendu de couleur (fidélité) des luminaires (Ra ou Rf)

Phase	Evaluation <sup>1</sup>	Enjeux Fort/Moyen/Faible	Niveau d'expertise Fort/Moyen/Faible
<b>Conception</b>	Spécifications techniques des luminaire	FORT	FAIBLE
<b>Exécution</b>	Non applicable	Non applicable	Non applicable
<b>Réception</b>	Mesures au spectroluxmètre	FORT	MOYEN
<b>Exploitation</b>	Mesures au spectroluxmètre	MOYEN	MOYEN

### 2.4.3. Modulation temporelle : papillotement et effets stroboscopiques

Phase	Evaluation <sup>1</sup>	Enjeux Fort/Moyen/Faible	Niveau d'expertise Fort/Moyen/Faible
<b>Conception</b>	Spécifications techniques des luminaires	FORT	FAIBLE
<b>Exécution</b>	Non applicable	Non applicable	Non applicable
<b>Réception</b>	Mesures au « flicker-luxmètre »	MOYEN	MOYEN
<b>Exploitation</b>	Mesures au « flicker-luxmètre »	FORT	MOYEN

### 2.4.4. Groupe de risque photobiologique des luminaires pour les populations sensibles (dont les enfants)

Phase	Evaluation <sup>1</sup>	Enjeux Fort/Moyen/Faible	Niveau d'expertise Fort/Moyen/Faible
<b>Conception</b>	Spécifications des fabricants de luminaire	FORT	FAIBLE
<b>Exécution</b>	Non applicable	Non applicable	Non applicable
<b>Réception</b>	Vérification des spec	FORT	FAIBLE
<b>Exploitation</b>	Vérification des spec	FORT	FAIBLE

### 2.4.5. Autonomie en lumière du jour d'un local

Phase	Evaluation <sup>1</sup>	Enjeux Fort/Moyen/Faible	Niveau d'expertise Fort/Moyen/Faible
<b>Conception</b>	Simulation numérique écl. nat. (logiciel) sur la base des spécifications des baies et des plans 3D	FORT	FORT
<b>Exécution</b>	Non applicable	Non applicable	Non applicable
<b>Réception</b>	impossible	Non applicable	Non applicable
<b>Exploitation</b>	impossible	Non applicable	Non applicable

### 2.4.6. Vue sur l'extérieur (oui/non)

Phase	Evaluation <sup>1</sup>	Enjeux Fort/Moyen/Faible	Niveau d'expertise Fort/Moyen/Faible
<b>Conception</b>	Sur plans 3D	FORT	FAIBLE
<b>Exécution</b>	Inspection visuelle	FORT	Non applicable
<b>Réception</b>	Inspection visuelle	FORT	Non applicable
<b>Exploitation</b>	Inspection visuelle	FORT	Non applicable

### 2.4.7. Indice d'éblouissement par les baies

Phase	Evaluation <sup>1</sup>	Enjeux Fort/Moyen/Faible	Niveau d'expertise Fort/Moyen/Faible
<b>Conception</b>	Simulation numérique écl. nat. (logiciel) sur la base des spécifications des baies et des protections solaires + plans 3D	FORT	FORT
<b>Exécution</b>	impossible	Non applicable	Non applicable
<b>Réception</b>	impossible	Non applicable	Non applicable
<b>Exploitation</b>	impossible	Non applicable	Non applicable

### 2.4.8. Présence de protections solaires (fixes ou mobiles) ou autre moyen de lutte contre l'éblouissement

Phase	Evaluation <sup>1</sup>	Enjeux Fort/Moyen/Faible	Niveau d'expertise Fort/Moyen/Faible
<b>Conception</b>	Sur document	FORT	FAIBLE
<b>Exécution</b>	Inspection visuelle	FORT	FAIBLE
<b>Réception</b>	Inspection visuelle	FORT	FAIBLE
<b>Exploitation</b>	Inspection visuelle	FORT	FAIBLE

### 2.4.9. Performances des protections solaires : classe de limitation de l'éblouissement

Phase	Evaluation <sup>1</sup>	Enjeux Fort/Moyen/Faible	Niveau d'expertise Fort/Moyen/Faible
<b>Conception</b>	Sur spécifications techniques des fabricants de protections solaires	FORT	FAIBLE
<b>Exécution</b>	Inspection visuelle	FAIBLE	FAIBLE
<b>Réception</b>	Inspection visuelle	FAIBLE	FAIBLE
<b>Exploitation</b>	Inspection visuelle	FAIBLE	FAIBLE

## 2.5. Analyse des indicateurs fiables à enjeu moyen

Les 6 indicateurs fiables à enjeux moyens sont les suivants :

1. Uniformité de l'éclairage artificiel
2. Indice d'éblouissement UGR des luminaires
3. Groupe de risque photobiologique des luminaires (pour la population générale)
4. Mécanisme de mise en place et d'ajustement des protections solaires : manuelle, automatique, ou inexistant
5. Dispositifs d'allumage, d'extinction et de gradation de l'éclairage électrique
6. Indicateur d'exposition circadienne m-EDI

**Le facteur de lumière du jour a été supprimé de la liste car il est redondant avec l'autonomie, qui est un paramètre à enjeu fort, donnant plus d'informations sur l'éclairage naturel.**

### 2.5.1. Uniformité de l'éclairage artificiel

Phase	Evaluation <sup>1</sup>	Enjeux Fort/Moyen/Faible	Niveau d'expertise Fort/Moyen/Faible
<b>Conception</b>	Simulation numérique (logiciel) sur la base des spécifications des fabricants de luminaire et des plans 3D	MOYEN	FORT
<b>Exécution</b>	Non applicable	Non applicable	Non applicable
<b>Réception</b>	Mesures au luxmètre	MOYEN	MOYEN
<b>Exploitation</b>	Mesures au luxmètre	FAIBLE	MOYEN

### 2.5.2. Indice d'éblouissement UGR des luminaires

Phase	Evaluation <sup>1</sup>	Enjeux Fort/Moyen/Faible	Niveau d'expertise Fort/Moyen/Faible
<b>Conception</b>	Simulation numérique (logiciel) sur la base des spécifications des fabricants de luminaire et des plans 3D	MOYEN	FORT
<b>Exécution</b>	Non applicable	Non applicable	Non applicable
<b>Réception</b>	Mesures au luminancemètre	MOYEN	FORT
<b>Exploitation</b>	Mesures au luminancemètre	FAIBLE	FORT

### 2.5.3. Groupe de risque photobiologique des luminaires (pour la population générale)

Phase	Evaluation <sup>1</sup>	Enjeux Fort/Moyen/Faible	Niveau d'expertise Fort/Moyen/Faible
<b>Conception</b>	Spécifications techniques des luminaires	MOYEN	FAIBLE
<b>Exécution</b>	Non applicable	Non applicable	Non applicable
<b>Réception</b>	Vérification des spec	MOYEN	FAIBLE
<b>Exploitation</b>	Vérification des spec	MOYEN	FAIBLE

### 2.5.4. Mécanisme de mise en place et d'ajustement des protections solaires : manuelle, automatique ou inexistant

Phase	Evaluation <sup>1</sup>	Enjeux Fort/Moyen/Faible	Niveau d'expertise Fort/Moyen/Faible
<b>Conception</b>	Plans 3D et cahiers des charges	MOYEN	FAIBLE
<b>Exécution</b>	Inspection sur place	MOYEN	FAIBLE
<b>Réception</b>	Inspection sur place	MOYEN	FAIBLE
<b>Exploitation</b>	Inspection sur lace	MOYEN	FAIBLE

### 2.5.5. Dispositifs d'allumage, d'extinction et de gradation de l'éclairage électrique

Phase	Evaluation <sup>1</sup>	Enjeux Fort/Moyen/Faible	Niveau d'expertise Fort/Moyen/Faible
<b>Conception</b>	Plans 3D et cahiers de charges	MOYEN	MOYEN
<b>Exécution</b>	Inspection sur place	MOYEN	MOYEN
<b>Réception</b>	Procédure de vérification des commandes, des capteurs, des automatismes	MOYEN	FORT
<b>Exploitation</b>	Procédure de vérification des commandes, des capteurs, des automatismes	MOYEN	FORT

### 2.5.6. Indicateur d'exposition circadienne m-EDI

Phase	Evaluation <sup>1</sup>	Enjeux Fort/Moyen/Faible	Niveau d'expertise Fort/Moyen/Faible
<b>Conception</b>	Simulation numérique (logiciel) ecl nat + ecl art. sur la base des spécifications des fabricants des luminaires, des baies, des protections solaires et des plans 3D	MOYEN	FORT
<b>Exécution</b>	Non applicable	Non applicable	Non applicable
<b>Réception</b>	Mesures au spectroluxmètre	FAIBLE	MOYEN
<b>Exploitation</b>	Mesures au spectroluxmètre	MOYEN	MOYEN

## 2.6. Bilan par phase des indicateurs fiables et à enjeu fort et moyen

### 2.6.1. En phase de conception

- Eclairage moyen (lumière électrique) à maintenir sur le plan de travail
- Indice de rendu de couleur (fidélité) des luminaires (Ra ou Rf)
- Modulation temporelle : papillotement et effets stroboscopiques
- Groupe de risque photobiologique des luminaires pour les populations sensibles (dont les enfants)
- Autonomie en lumière du jour d'un local

- Vue sur l'extérieur (Oui/Non)
- Indice DGP d'éblouissement par les baies
- Présence de protections solaires (fixes ou mobiles) ou autre moyen de lutte contre l'éblouissement
- Uniformité de l'éclairage artificiel
- Indice d'éblouissement UGR des luminaires
- Groupe de risque photobiologique des luminaires (pour la population générale)
- Mécanisme de mise en place et d'ajustement des protections solaires : manuelle, automatique, ou inexistant
- Performance des protections solaires : classe d'éblouissement
- Dispositifs d'allumage, d'extinction et de gradation de l'éclairage électrique
- Indicateur d'exposition circadienne m-EDI

### 2.6.2. En phase d'exécution

Aucun indicateur à enjeu fort pendant la phase d'exécution

### 2.6.3. En phase de réception

- Eclairage moyen (lumière électrique) à maintenir sur le plan de travail
- Indice de rendu de couleur (fidélité) des luminaires (Ra ou Rf)
- Modulation temporelle : papillotement et effets stroboscopiques
- Groupe de risque photobiologique des luminaires pour les populations sensibles (dont les enfants)
- Vue sur l'extérieur (Oui/Non)
- Présence de protections solaires (fixes ou mobiles) ou autre moyen de lutte contre l'éblouissement
- Uniformité de l'éclairage artificiel
- Indice d'éblouissement UGR des luminaires
- Groupe de risque photobiologique des luminaires (pour la population générale)
- Mécanisme de mise en place et d'ajustement des protections solaires : manuelle, automatique, ou inexistant
- Dispositifs d'allumage, d'extinction et de gradation de l'éclairage électrique

### 2.6.4. En phase d'exploitation

- Eclairage moyen (lumière électrique) à maintenir sur le plan de travail
- Indice de rendu de couleur (fidélité) des luminaires (Ra ou Rf)
- Modulation temporelle : papillotement et effets stroboscopiques
- Groupe de risque photobiologique des luminaires pour les populations sensibles (dont les enfants)
- Vue sur l'extérieur (Oui/Non)
- Présence de protections solaires (fixes ou mobiles) ou autre moyen de lutte contre l'éblouissement
- Indice d'éblouissement UGR des luminaires

- Groupe de risque photobiologique des luminaires (pour la population générale)
- Mécanisme de mise en place et d'ajustement des protections solaires : manuelle, automatique, ou inexistant
- Dispositifs d'allumage, d'extinction et de gradation de l'éclairage électrique

## 2.7. Propositions au-delà de l'existant

### 2.7.1. Définir les protocoles de mesures et d'évaluation pour mettre en œuvre les indicateurs proposés

Les protocoles de mesures et d'évaluation de la qualité visuelle doivent être précisés.

### 2.7.2. Définir la stratégie de déploiement des capteurs pour la surveillance en phase d'exploitation

La stratégie de déploiement des capteurs de qualité visuelle doit être définie.

### 2.7.3. Nouvel indicateur d'efficacité circadienne de la lumière

On pourrait définir un nouvel indicateur de dose de lumière mélanopique intégré sur la durée journalière ou annuelle passé par un usager dans un local. Cet indicateur intégrerait toutes les lumières provenant de l'éclairage naturel et de l'éclairage électrique, en considérant les contrôles de l'éclairage électrique et les contrôles de la protection solaire.

Définition : valeur cumulée (intégrale) l'éclairement m-EDI dans le plan de l'œil en fonction du temps

Unité : cet indicateur s'exprimerait en lux.heures

Phase	Evaluation <sup>1</sup>	Enjeux Fort/Moyen/Faible	Niveau d'expertise Fort/Moyen/Faible
<b>Conception</b>	Simulation numérique éclairage artificiel et éclairage naturel	MOYEN	FORT
<b>Exécution</b>	Non applicable	Non applicable	Non applicable
<b>Réception</b>	Inspection sur place	Non applicable	Non applicable
<b>Exploitation</b>	Mesure par dosimètre	MOYEN	MOYEN

## 3. INDICATEURS POUR LA QUALITE D'AIR INTERIEUR

### 3.1. Documents de référence

#### 3.1.1. Réglementations

- Réglementation environnementale RE2020
- Code de la santé publique
- Code de l'environnement
- Décret n° 2022-1689 du 27 décembre 2022 modifiant le code de l'environnement en matière de surveillance de la qualité de l'air intérieur
- Décret n° 2022-1690 du 27 décembre 2022 modifiant le décret n° 2012-14 du 5 janvier 2012 relatif à l'évaluation des moyens d'aération et à la mesure des polluants effectuées au titre de la surveillance de la qualité de l'air intérieur de certains établissements recevant du public
- Arrêté du 27 décembre 2022 modifiant l'arrêté du 1er juin 2016 relatif aux modalités de surveillance de la qualité de l'air intérieur dans certains établissements recevant du public
- Arrêté du 27 décembre 2022 fixant les conditions de réalisation de la mesure à lecture directe de la concentration en dioxyde de carbone dans l'air intérieur au titre de l'évaluation annuelle des moyens d'aération
- Arrêté du 27 décembre 2022 modifiant l'arrêté du 1er juin 2016 relatif aux modalités de présentation du rapport d'évaluation des moyens d'aération
- Arrêté du 26 février 2019 relatif aux modalités de gestion du radon dans certains établissements recevant du public et de diffusion de l'information auprès des personnes qui fréquentent ces établissements
- Directive 2013/59/Euratom du Conseil du 5 décembre 2013 fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire contre les dangers résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants et abrogeant les directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom et 2003/122/Euratom
- Décret n° 2018-434 du 4 juin 2018 portant diverses dispositions en matière nucléaire
- Arrêté du 27 juin 2018 portant délimitation des zones à potentiel radon du territoire français
- Arrêté du 13 juillet 2018 modifiant l'arrêté du 13 octobre 2005 portant définition du modèle d'imprimé pour l'établissement de l'état des risques naturels et technologiques
- Arrêté du 20 février 2019 relatif aux informations et aux recommandations sanitaires à diffuser à la population en vue de prévenir les effets d'une exposition au radon dans les immeubles bâtis

#### 3.1.2. Normes

- EN16798-1 : Performance énergétique des bâtiments - Ventilation des bâtiments - Partie 1 : données d'entrées d'ambiance intérieure pour la conception et l'évaluation de la performance énergétique des bâtiments couvrant la qualité de l'air intérieur, l'ambiance thermique, l'éclairage et l'acoustique

#### 3.1.3. Référentiels

- Level(s) European framework for sustainable buildings

- HQE bâtiment tertiaire :
  - o HQE Bâtiment Durable v4 (HQE BD v4),
  - o HQE Bâtiment v1 (HQE B v1).
- HQE bâtiment Santé :
  - o HQE Bâtiment Durable Santé (HQE BD Santé)
  - o HQE Bâtiment Santé (HQE B Santé)
- NF Habitat HQE
- IAQVS : Eurovent Certita Certification

### 3.1.4. Retours d'expérience

- Projet CEA COMEPOS
- Projets OQAI

### 3.1.5. Autres

- WHO guidelines for indoor air quality – dampness and mould
- WHO guidelines for indoor air quality – selected pollutants
- WHO global air quality guidelines
- WHO handbook on indoor radon a public health perspective
- IAEA Safety Standards for protecting people and the environment: Protection of the Public against exposure indoors due to radon and other natural sources of radiation jointly sponsored by the IAEA, WHO
- Haut Conseil de la santé publique avis relatif à la mesure du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) dans l'air intérieur des établissements recevant du public (ERP) 21 janvier 2022
- Haut Conseil de la santé publique : avis relatif aux valeurs repères d'aide à la gestion de la qualité de l'air intérieur pour le formaldéhyde, 2 mai 2019
- Avis de l'Anses : moisissures dans le bâti juin 2016 (révisé en octobre 2016)
- HQE – Règles d'application pour l'évaluation de la qualité de l'air intérieur d'un bâtiment neuf ou rénové à réception
- HQE – Mesurer la qualité de l'air intérieur des bâtiments neufs ou rénovés : 5 étapes clés pour intégrer, réaliser et valoriser des mesures à réception
- HQE – Qualité de l'air intérieur d'un bâtiment en exploitation – Règles d'application pour la mesure
- HQE – Qualité de l'air intérieur : la place des capteurs de mesure en continu lors de la conception ou de l'exploitation d'un bâtiment

### 3.2. Indicateurs existants

	Seuil existant Oui/Non	Application Résidentiel / Tertiaire	Fiabilité	Enjeux <sup>1</sup> Fort/Moyen/Faible
<b>1. Humidité relative</b>	Oui : EN16798-1 OMS	Résidentiel et tertiaire	Fiable	Moyen Humidité ambiante élevée : risques de prolifération de moisissures et d'acariens Humidité faible : risques de transmission d'agents infectieux aéroportés
<b>2. Moisissures</b>	Oui : Anses air ambiant HQE air intérieur (UFC/m <sup>3</sup> ) Taille des surfaces moisies (m <sup>2</sup> )	Résidentiel et tertiaire	Dépendant de la méthode de détection Facteur de saisonnalité important	Fort (effets sur la santé, dépendent de la vulnérabilité des individus)
<b>3. CO2</b>	Oui : Arrêté du 27 décembre 2022 ICONE EN16798-1	ERP (Arrêté du 27 décembre 2022) Résidentiel et tertiaire (ICONE, EN16798-1)	Fiable selon le positionnement de la mesure et si le brassage de l'air est efficace	Fort (indicateur du renouvellement d'air (aération, ventilation) favorise l'accumulation des polluants intérieurs et la propagation des maladies infectieuses aéroportées, et impacte les performances cognitives et l'apprentissage des enfants)
<b>4. Débit d'air ou taux de renouvellement d'air</b>	Oui : RE2020 EN16798-1 ASHRAE62.1	Résidentiel et tertiaire	Fiable	Fort (mauvais fonctionnement du système de la ventilation en lien avec l'évacuation des polluants intérieurs et de l'humidité)
<b>5. Formaldéhyde</b>	Oui : Décret n° 2022- 1689 du 27 décembre 2022 OMS	ERP (Décret n° 2022-1689 du 27 décembre 2022) Résidentiel et tertiaire (OMS)	Fiable en mesure normalisée ou analyseur en continu Peu-fiable ou inexistant pour les microcapteurs Peu fiable en mesure passive sur la mesure du risque d'exposition si la ventilation a des	Fort (cancérogène avéré chez l'homme selon le CIRC, irritant oculaire et respiratoire)

			réduits en inoccupation	
<b>6. COVT ou COV majoritaires (HQE)</b>	Oui : HQE	Résidentiel et tertiaire	Fiable en mesure normalisée (échantillonnage actif ou diffusif)	Fort pour certains COV (benzène trichloréthylène, tétrachloroéthylène sont classés cancérigènes, et la plupart des COV sont des irritants oculaires et respiratoires)
<b>7. Radon</b>	Oui : Article R. 1333-33 OMS	ERP (Article R. 1333-33) Résidentiel (OMS)	Fiable en mesure	Fort (cancérogène avéré chez l'homme selon le CIRC)
<b>8. PM2,5</b>	Oui : Article R221-1 OMS	Air ambiant	Fiable en mesure normalisée	Fort (cancérogène avéré chez l'homme selon le CIRC)

<sup>1</sup>Fort / Moyen / Faible :

Fort : peut provoquer des maladies chroniques invalidantes, pouvant s'aggraver et être mortelles ou moins invalidantes mais touchant un grand nombre de personnes (ex. allergies respiratoires)

Moyen : peut provoquer des maladies aiguës

Faible : peut provoquer de l'inconfort ou des nuisances

### 3.2.1. Humidité relative et moisissures

#### Humidité relative

Phase	Evaluation <sup>1</sup>	Enjeux Fort/Moyen/Faible	Niveau d'expertise Fort/Moyen/Faible
<b>Conception</b>	Calcul : BUILDSYSPRO COMETH CONTAM MATHIS-QAI	Moyen	Fort (expertise numérique)
<b>Exécution</b>	/	/	/
<b>Réception</b>	Contrôle des temps d'assèchement des chantiers (temps de ventilation avant réception)	Moyen	Moyen (expertise sur le terrain)
<b>Exploitation</b>	Mesure en temps réel à l'aide de capteurs thermo-hygromètres	Moyen	Faible

### Moisissures

Phase	Evaluation <sup>1</sup>	Enjeux Fort/Moyen/Faible	Niveau d'expertise Fort/Moyen/Faible
<b>Conception</b>	Calcul: MATHIS-QAI TRNSYS WUFI BIO	Fort	Fort (expertise numérique)
<b>Exécution</b>	Inspection visuelle : présence/absence Taille de la surface moisie Mesure de l'Indice de contamination fongique (ICF) Mesure de la biomasse fongique	Fort	Fort (expertise sur le terrain et analyse de laboratoire)
<b>Réception</b>	Inspection visuelle Mesure de l'Indice de contamination fongique (ICF) Mesure de la biomasse fongique	Fort	Fort (expertise sur le terrain et analyse de laboratoire)
<b>Exploitation</b>	Inspection visuelle Mesure de l'Indice de contamination fongique (ICF) Mesure de la biomasse fongique	Fort	Fort (expertise sur le terrain et analyse de laboratoire)

### 3.2.2. CO<sub>2</sub> et ventilation

#### CO<sub>2</sub>

Phase	Evaluation <sup>1</sup>	Enjeux Fort/Moyen/Faible	Niveau d'expertise Fort/Moyen/Faible
<b>Conception</b>	Calcul : CONTAM INERIS outil INDALO MATHIS-QAI	Fort	Fort (expertise numérique)
<b>Exécution</b>	/	/	/
<b>Réception</b>	/	/	
<b>Exploitation</b>	Mesure en temps réel à l'aide de capteurs infrarouges (NDIR)	Fort	Faible

### Débit d'air ou taux de renouvellement d'air

Phase	Evaluation <sup>1</sup>	Enjeux Fort/Moyen/Faible	Niveau d'expertise Fort/Moyen/Faible
<b>Conception</b>	Calcul : COMETH CONTAM INDALO MATHIS-QAI	Fort	Fort (expertise numérique)
<b>Exécution</b>	/	/	/
<b>Réception</b>	Mesure (vitesse d'air à l'aide de l'anémomètre aux bouches, pression au niveau des bouches ou la méthode de CO2)	Fort	Moyen (expertise sur le terrain)
<b>Exploitation</b>	Mesure (vitesse d'air à l'aide de l'anémomètre aux bouches, pression au niveau des bouches ou la méthode de CO2)	Fort	Moyen (expertise sur le terrain)

### 3.2.3. Polluants intérieurs

#### Formaldéhyde

Phase	Evaluation <sup>1</sup>	Enjeux Fort/Moyen/Faible	Niveau d'expertise Fort/Moyen/Faible
<b>Conception</b>	Calcul : BUILDSYSPRO CONTAM INDALO MATHIS-QAI	Fort	Fort (expertise numérique)
<b>Exécution</b>	/	/	/
<b>Réception</b>	Mesure normalisée ISO NF ISO 16000-4 (échantillonnage diffusif) NF ISO 16000-3 (échantillonnage actif)	Fort	Fort (expertise sur le terrain et analyse chimique)
<b>Exploitation</b>	Mesure normalisée ISO	Fort	Fort (expertise sur le terrain et analyse chimique)

<sup>1</sup>Calcul / Mesure / Inspection, ou autre type d'évaluation à préciser

### COVT ou COV majoritaires (HQE)

Phase	Evaluation <sup>1</sup>	Enjeux Fort/Moyen/Faible	Niveau d'expertise Fort/Moyen/Faible
<b>Conception</b>	Calcul : CONTAM INDALO MATHIS-QAI	Fort	Fort (expertise numérique)
<b>Exécution</b>	/	/	/
<b>Réception</b>	Mesure normalisée ISO NF ISO 16000-6 (échantillonnage actif) NF EN ISO 16017-2 (échantillonnage par diffusion)	Fort	Fort (expertise sur le terrain et analyse chimique)
<b>Exploitation</b>	Mesure normalisée ISO	Fort	Fort

<sup>1</sup> Calcul / Mesure / Inspection, ou autre type d'évaluation à préciser

### Radon

Phase	Evaluation <sup>1</sup>	Enjeux Fort/Moyen/Faible	Niveau d'expertise Fort/Moyen/Faible
<b>Conception</b>	Calcul : MATHIS-QAI	Fort	Fort (expertise numérique)
<b>Exécution</b>	/	/	/
<b>Réception</b>	Mesure normalisé ISO à l'aide de dosimètres	Fort	Moyen (expertise sur le terrain)
<b>Exploitation</b>	Mesure normalisé ISO à l'aide de dosimètres	Fort	Moyen (expertise sur le terrain)

<sup>1</sup> Calcul / Mesure / Inspection, ou autre type d'évaluation à préciser

### PM2,5

Phase	Evaluation <sup>1</sup>	Enjeux Fort/Moyen/Faible	Niveau d'expertise Fort/Moyen/Faible
<b>Conception</b>	Calcul : CONTAM INDALO MATHIS-QAI	Fort	Fort (expertise numérique)
<b>Exécution</b>	/	/	/
<b>Réception</b>	Mesure normalisé gravimétrique ou à l'aide de compteurs optiques	Fort	Moyen (expertise sur le terrain)
<b>Exploitation</b>	Mesure en temps réel à l'aide de microcapteurs	Fort	Faible

<sup>1</sup> Calcul / Mesure / Inspection, ou autre type d'évaluation à préciser

### 3.3. Propositions au-delà de l'existant

- Définir les protocoles de mesures et d'évaluation pour mettre en œuvre les indicateurs proposés
- Définir la stratégie de déploiement des microcapteurs pour la surveillance en phase d'exploitation
- Réglementation : mettre en cohérence avec "les résultats minimaux QAI" à paraître en janvier 2025. Une simulation numérique est prévue pour calculer les indicateurs représentatifs de la QAI dans les logements neufs. En considérant tous les systèmes de ventilation.

## 4. INDICATEURS POUR LE CONFORT THERMIQUE

### 4.1. Documents de référence

#### 4.1.1. Réglementations

- Réglementation environnementale RE2020

#### 4.1.2. Normes

- ISO 7726:1998 Ergonomie des ambiances thermiques : Appareils de mesure des grandeurs physiques,
- Norme ISO 7730 « Ergonomie des ambiances thermiques – Détermination analytique et interprétation du confort thermique par le calcul des indices PMV et PPD et par des critères de confort thermique local », 2005,
- Norme NF EN 16798-1 « Performance énergétique des bâtiments – Ventilation des bâtiments – Partie 1 : données d’entrées d’ambiance intérieure pour la conception et l’évaluation de la performance énergétique des bâtiments couvrant la qualité de l’air intérieur, l’ambiance thermique, l’éclairage et l’acoustique (module M1-6), mai 2019,
- ANSI/ASHRAE 55, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, 2023.

#### 4.1.3. Référentiels

- Level(s) European framework for sustainable buildings,
- HQE bâtiment V1 et durable V4.

#### 4.1.4. Autres

- WHO guidelines for indoor air temperature and humidity,
- WHO guidelines for ventilation and air conditioning,
- LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), développé par le U.S. Green Building Council,
- BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method).

## 4.2. Indicateurs existants

	Seuil existant Oui/Non	Application Résidentiel / Tertiaire	Fiabilité	Enjeux (pertinence) Fort/Moyen/Faible
PMV, Norme ISO 7730	Oui, Norme ISO 7730	Résidentiel et tertiaire	Ambiance modérée	Faible
Température opérative (confort adaptatif) Norme EN 16798	Oui, Norme NF EN 16798-1	Résidentiel et tertiaire	Toutes les saisons	Fort
PMVe (P. Fanger, et J. Toftum 2002)	Oui, si remplace PMV classique	Résidentiel et tertiaire	Confort d'été	Moyen
PMVa (R. Yao, B. Li et J. Liu 2009)	Oui, si remplace PMV classique	Résidentiel et tertiaire	Confort d'été, surestime le confort si Vair > 0.2m/s	Moyen
SET (Modèle thermophysique à 2 nodes de gagge) ASHRAE Standard 55-2010	Oui, ASHRAE Standard 55-2010	Résidentiel et tertiaire	Toute ambiance sans adaptation aux climat extérieur, pas adapté à la population française	Moyen
SETa (Modèle thermophysique à 2 nodes de gagge) Zhang et Lin 2020	Oui, si remplace SET	Résidentiel et tertiaire	Toute ambiance, pas adapté à la population française	Fort

<sup>1</sup>Fort / Moyen / Faible :

Fort : pertinence forte face aux enjeux du confort d'été

Moyen : pertinence moyenne face aux enjeux du confort d'été

Faible : pertinence faible face aux enjeux du confort d'été

### 4.2.1. PMV (Predicted Mean Vote)

Norme 7730

Phase	Evaluation <sup>1</sup>	Enjeux Fort/Moyen/Faible	Niveau d'expertise Fort/Moyen/Faible
Conception	Calcul via STD (thermoaéraulique) Mathis, Energie+	Fort	Fort
Exécution	Calcul via STD (thermoaéraulique) Mathis, Energie+	Moyen	Moyen
Réception	Mesure	Faible	Faible
Exploitation	Mesure	Faible	Faible

### 4.2.2. Température opérative (confort adaptatif)

Norme EN 16798

Commentaire : n'intègre pas l'humidité, l'activité ou encore la tenue vestimentaire.

Phase	Evaluation <sup>1</sup>	Enjeux Fort/Moyen/Faible	Niveau d'expertise Fort/Moyen/Faible
Conception	Calcul via STD (thermoaéraulique) Mathis, Energie+ historique météo	Fort	Fort
Exécution	Calcul via STD (thermoaéraulique) Mathis, Energie+ historique météo	Fort	Faible
Réception	Mesure	Fort	Faible
Exploitation	Mesure	Fort	Faible

### 4.2.3. PMVe

P. Fanger et J. Toftum 2002 ", Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates", Energy and buildings vol.34, p. 533-536

Commentaire : le facteur e complexe à évaluer

Phase	Evaluation <sup>1</sup>	Enjeux Fort/Moyen/Faible	Niveau d'expertise Fort/Moyen/Faible
Conception	Calcul via STD (thermoaéraulique) Mathis, Energie+,...	Moyen	Fort
Exécution	Calcul via STD (thermoaéraulique) Mathis, Energie+,...	Moyen	Moyen
Réception	Mesure	Moyen	Faible
Exploitation	Mesure	Moyen	Faible

<sup>1</sup>Calcul / Mesure / Inspection, ou autre type d'évaluation à préciser

### 4.2.4. PMVa

R. Yao, B. Li et J. Liu, 2009, "A theoretical adaptive model of thermal comfort - Adaptive Predicted Mean Vote (aPMV)", Building and environment, vol. 44, p. 2089-2096

Commentaire : le facteur a complexe à évaluer

Phase	Evaluation <sup>1</sup>	Enjeux Fort/Moyen/Faible	Niveau d'expertise Fort/Moyen/Faible
Conception	Calcul via STD (thermoaéraulique) Mathis, Energie+,...	Moyen	Fort
Exécution	Calcul via STD (thermoaéraulique) Mathis, Energie+,...	Moyen	Moyen
Réception	Mesure	Moyen	Faible
Exploitation	Mesure	Moyen	Faible

### 4.2.5. SET (Standard effective temperature)

ASHRAE Standard 55-2010

Phase	Evaluation <sup>1</sup>	Enjeux Fort/Moyen/Faible	Niveau d'expertise Fort/Moyen/Faible
Conception	Calcul via STD (thermoaéraulique) Mathis, Energie+,...	Moyen	Fort
Exécution	Calcul via STD (thermoaéraulique) Mathis, Energie+,...	Moyen	Moyen
Réception	Mesure	Moyen	Faible
Exploitation	Mesure	Moyen	Faible

### 4.2.6. SET adaptatif

S. Zhang et Z. Lin, 2020, "Standard effective temperature based adaptive-rational thermal comfort model", Applied Energy, vol.264

Phase	Evaluation <sup>1</sup>	Enjeux Fort/Moyen/Faible	Niveau d'expertise Fort/Moyen/Faible
Conception	Calcul via STD (thermoaéraulique) Mathis, Energie+,...	Fort	Fort
Exécution	Calcul via STD (thermoaéraulique) Mathis, Energie+,...	Fort	Moyen
Réception	Mesure	Moyen	Faible
Exploitation	Mesure	Moyen	Faible

<sup>1</sup>Calcul / Mesure / Inspection, ou autre type d'évaluation à préciser

## 4.3. Propositions au-delà de l'existant

### SET NHTM-métamodèle (adaptatif), Sensation thermique = f(SET\_NHTM)

Modèle de confort thermique d'été pour la population française Issue de l'étude de la base de données du projet Profeel RENOPTIM pour le logement collectif, disponible début 2025.

Phase	Evaluation <sup>1</sup>	Enjeux Fort/Moyen/Faible	Niveau d'expertise Fort/Moyen/Faible
Conception	Calcul via STD (thermoaéraulique) Mathis, Energie+,...	Fort	Fort
Exécution	Calcul via STD (thermoaéraulique) Mathis, Energie+,...	Fort	Moyen
Réception	Mesure	Moyen	Faible
Exploitation	Mesure	Moyen	Faible

<sup>1</sup>Calcul / Mesure / Inspection, ou autre type d'évaluation à préciser