



Groupe de travail « Réflexion Bâtiment Responsable 2020-2050 »
(RBR 2020-2050)

Note thématique « Bâtiment responsable et santé »

-
Octobre 2019

Rédaction :

- **Suzanne Déoux**, docteur en médecine, Médiéco, ingénierie de santé du cadre bâti et urbain
- **Florence Péronneau**, Pollen RE, Conseil stratégie immobilière des entreprises

Lancé en 2011 et co-piloté par Alain Maugard (Qualibat) et Christian Cléret (Novaxia), le **groupe de travail « Réflexion Bâtiment Responsable 2020-2050 »** - RBR 2020-2050 - du Plan Bâtiment Durable a vocation à proposer une **vision prospective** et partagée des lignes forces des bâtiments responsables à l'horizon 2020-2050. Le groupe de travail a ainsi participé à démocratiser l'idée que la future réglementation en matière de construction neuve (RE 2020) ne serait plus seulement thermique mais environnementale.

Les travaux du groupe, dont le périmètre a été ouvert à de nombreux enjeux autres que les enjeux énergie-carbone et plus largement environnementaux, sont ainsi complétés, depuis 2017, par la production de notes thématiques qui enrichissent la notion même de bâtiment responsable, durable et désirable. La présente note, rédigée par un collectif réuni autour du thème de la santé et du bâtiment Responsable, a pour objectif de nourrir la réflexion prospective menée.

Cette note portant sur le bâtiment responsable et la santé est la 6^{ème} publiée par le groupe RBR 2020-2050 après :

- Vers des bâtiments bas carbone ;
- BEPOS, PV et Système électrique ;
- Immobilier et bâtiment : cinq questions de prospective sur valeur et économie ;
- Bâtiments responsables, usages et confort : quelles lignes directrices pour demain ? ;
- Bâtiment responsable & Intelligence Artificielle.

Chaque note thématique est soumise au débat collaboratif de la filière.

A l'issue de la phase de concertation menée du 19 février au 29 mars 2019 et d'une présentation devant le bureau du Plan Bâtiment Durable le 18 septembre 2019, cette note thématique a été publiée en octobre 2019.

SOMMAIRE

Propos introductif : Le Bâtiment Responsable met L'Homme au cœur de la réflexion	3
I. HABITER : LE BÂTIMENT RESPONSABLE, PREMIER ENVIRONNEMENT DE L'HOMME	4
Comment le bâti, notre premier environnement, nous sollicite-t-il en permanence ?	4
1. Par la respiration	4
2. Par nos sens	4
3. Par la sensibilité générale ou somatique	6
4. Par l'environnement électromagnétique	7
5. Par l'eau	7
II. CONCEVOIR : LE BÂTIMENT RESPONSABLE, L'HOMME AU CŒUR DES PROJETS	8
Le bâtiment responsable, une réponse aux besoins essentiels des occupants	8
1. Les besoins physiologiques	8
2. Les besoins sensoriels et sensibles	9
3. Les besoins psychosociaux	10
L'architecture, une réponse thérapeutique aux besoins des occupants	13
1. La santé physique	13
2. La santé psychique	14
3. La santé sociale	14
III. PRÉVENIR : LE BÂTIMENT RESPONSABLE, VERS UNE DIMINUTION DES COÛTS SANITAIRES	16
Le bâtiment, un espace de vie qui n'expose pas à des agents pathogènes	16
1. Les performances sanitaires du bâti sous influence ... du sous-sol	17
2. Les performances sanitaires du bâti sous influence ... de l'environnement extérieur	17
3. Les performances sanitaires du bâti sous influence ... des produits de construction et de finition	18
4. Les performances sanitaires du bâti sous influence ... des équipements et de leur maintenance	20
5. Les performances sanitaires du bâti sous influence ... de leur usage	21
6. Les performances sanitaires du bâti sous influence ... des acteurs de l'acte de construire	21
IV. PROSPECTIVE ET BONNES PRATIQUES : 5 RECOMMANDATIONS POUR UN BÂTI RESPECTUEUX DE LA SANTÉ DE L'HOMME	23
1. La mise en œuvre des matériaux de construction et des équipements dans le bâtiment	23
2. La prise en compte de l'impact de l'environnement quotidien sur le bien-être de l'homme	23
3. La santé traitée de façon globale du bâtiment à la ville	24
4. La santé sociale, un enjeu à prendre en considération avec plus d'attention	24
5. La santé sociétale, un axe à dynamiser	24
Annexe : Liste des contributeurs	25

L'évolution de la démographie mondiale, la raréfaction des ressources naturelles, les phénomènes de concentration urbaine interpellent l'ensemble des acteurs de l'Industrie immobilière sur la nécessité de **prendre soin** de l'homme dans les actes de conception, de construction et de rénovation de l'ensemble des typologies de bâtiments qui feront la ville de demain.

Comme le souligne Jean Carassus¹ : « L'immobilier durable sera désirable ou ne sera pas : la santé physique, psychique et sociale des utilisateurs est au centre de l'immobilier durable ».

La notion originelle de développement durable sous-entend « un **équilibre dans la satisfaction de besoins essentiels de l'être humain** et porte sur les conditions de son existence, non seulement environnementales mais aussi économiques, sociales et culturelles dans la société ».

Au-delà de l'engouement pour la notion de « confort et bien-être », présente dans un grand nombre de discours d'entreprises ou plus largement politiques, la volonté du groupe RBR 2020-2050 d'inscrire la « santé et le cadre bâti » dans le projet « Bâtiment Responsable » démontre la nécessité d'une approche scientifique et médicale, elle-même étayée par des résultats objectifs d'analyse, de mesure, et de « soin » qui, rapportés au cadre bâti, concourt à la prévention des maladies et à l'amélioration de la qualité de vie.

Le Bâtiment Responsable met L'Homme au cœur de la réflexion

La Santé est le bien le plus précieux de l'Homme. « Elle ne consiste pas en une absence de maladie ou d'infirmité » comme l'a précisé l'Organisation Mondiale de la Santé, lors de sa création en 1946. C'est « un état de complet bien-être physique, mental et social », objectif ambitieux, car le terme « complet » laisse entrevoir la difficulté d'atteindre cet équilibre.

Les enjeux de santé mobilisent la sphère publique dans le cadre de la politique nationale mise en œuvre pour l'ensemble de ses administrés, tous les citoyens et l'ensemble des acteurs économiques.

Elle est omniprésente dans les préoccupations individuelles comme collectives, de la naissance à la fin de la vie et dépasse largement les enjeux de médecine curative et préventive.

Les enjeux et les défis de la relation **Bâtiment et Santé** sont donc multiples et diversifiés.

De nombreuses études scientifiques ont permis d'intégrer à l'ensemble des labellisations et certifications des bâtiments « conception et exploitation » à travers le monde, des objectifs et indicateurs de suivi, plus particulièrement sur les thématiques de la santé physique tels que l'emploi de matériaux plus sains, la qualité, de l'air, de l'eau, de la lumière, de l'acoustique, etc.

Cette note qui a pour objet d'approfondir le lien entre santé et cadre bâti ne peut cependant limiter son cadre de réflexions, d'attentions et de préconisations à quelques catégories de bâtiments, principalement le logement et le bureau, ni à la seule santé physique.

Notre réflexion sera donc structurée autour des thèmes qui embarquent tout d'abord l'environnement vital de l'Homme dans la réponse à ses besoins avant d'aborder le traitement de quelques priorités dans le domaine de la **santé physique** ainsi que les sujets de prévention des maladies et des accidents, existants ou émergents dans un cadre environnemental et sociétal qui évolue sous contraintes. La dimension et la conception des bâtiments et des villes et de l'aménagement en général (urbanisme favorable à la santé) jouent bien entendu un rôle majeur dans la **santé sociale** et la **santé psychique** de l'Homme. La santé perçue², regroupant ces trois niveaux – physique, sociale et psychique -, est la réponse holistique à la qualité de l'espace de vie où l'on se sent bien. C'est l'**indicateur reconnu** de l'état de santé général de la population.

¹ www.immobilierdurable.eu

² *Atlas de la Santé et du Social de Bruxelles-Capitale*, Deboosere P., Gadeyne S., 2006

I. HABITER : LE BÂTIMENT RESPONSABLE, PREMIER ENVIRONNEMENT DE L'HOMME

L'être humain dépend de son environnement et cette dépendance le rend vulnérable aux caractéristiques de ses différents espaces de vie. Il a toujours cherché à se protéger des éléments naturels : le froid, le chaud, la pluie, le vent, le soleil, la foudre, etc. Si le bâtiment joue ce rôle d'abri face aux agressions extérieures, il doit aussi garantir l'équilibre physiologique et psychique de ses occupants.

Les acteurs de l'industrie immobilière ont donc pour souci constant de préserver et de protéger la Santé de l'Homme, de la conception jusqu'à l'exploitation du cadre bâti, en connexion avec son environnement. « Prendre soin » des occupants en les incitant à des comportements plus sains constitue le premier acte responsable de toute la profession. Et ce, en les préservant, selon la vocation de l'espace conçu, d'agents pathogènes. Ces derniers sont différemment ressentis ou supportés en fonction de l'âge et de l'état de santé.

On ne peut donc concevoir et construire une crèche ou une école comme un immeuble de bureaux ou une maison de retraite ! De même, un bâtiment à usage d'habitation doit pouvoir s'adapter aux besoins différents de ses occupants : enfant en bas âge à la maison, étudiant à son bureau, télétravail, handicaps...

Face aux diverses sollicitations environnementales, notre organisme s'adapte plus ou moins bien. La santé est une **éco-adaptation réussie**, ce qui en est une définition plus dynamique que celle de « l'état de complet bien-être ».

Comment le bâti, notre premier environnement, nous sollicite-t-il en permanence ?

1. Par la respiration, nous sommes en contact permanent avec notre environnement.

La qualité des 15 000 litres d'air inhalés chaque jour conditionne le transfert direct de nombreux composés atmosphériques vers le sang et tous nos organes. Au repos, la totalité de nos cinq litres de sang passe en une minute dans les 75 m² de nos poumons ! On comprend ainsi aisément que les effets sanitaires de la qualité de l'air ne se limitent pas aux seules affections respiratoires, mais concernent de nombreux autres systèmes cardiovasculaire, nerveux, endocrinien...

2. **Par nos sens**, nous percevons les caractéristiques de nos différents espaces de vie. Les sens sont en lien étroit avec **le système nerveux végétatif**, notre « pilote automatique » qui régule, sans que nous en soyons conscient, les différentes fonctions vitales de l'organisme (digestion, respiration, circulation artérielle et veineuse, pression artérielle, sécrétion et excrétion).

Ainsi la lumière naturelle, infime partie du spectre électromagnétique, ne sert pas qu'à **voir**. Elle synchronise nos différents rythmes biologiques et fonctions : des sécrétions hormonales à l'humeur, du sommeil à la mémoire, etc. Elle est un repère temporel au cours de la journée et est indispensable à la perception spatiale et à l'orientation. Ne se préoccuper que du confort visuel est donc une approche trop restreinte. La lumière reçue et diffusée par les corps nous plonge dans un univers coloré dont les effets psychologiques ne sont pas controversés alors que les effets physiologiques sont plus négligés : modification de la température, des dimensions et des volumes, mais surtout besoin de couleurs complémentaires pour limiter la fatigue rétinienne, etc.

Il en est de même de l'environnement sonore (**ouïr**) qui, par l'intermédiaire du système neuro-végétatif, a un impact sur la tension artérielle, le rythme cardiaque, la qualité du sommeil, l'humeur et donc la qualité des relations sociales. En effet, l'ouïe, qui s'éveille in utero dès le 5^{ème} mois, constitue le premier sens d'alerte efficace, permanent et à distance, elle ne sert pas qu'à entendre les sons désirés, mais permet de surveiller en permanence l'environnement et de déceler les situations « anormales ». Les expositions au bruit « non désiré », sont ainsi corrélées avec l'ensemble des troubles associés au stress inhibé (troubles cardiovasculaires, de la

digestion, de l'humeur et du sommeil). L'exposition nocturne, en plus, déstructure le sommeil, avec des répercussions sur les capacités d'apprentissage, de mémorisation et d'équilibre psychique. D'autre part, il faut noter que nous nous repérons dans le temps et dans l'espace plus avec l'ouïe qu'avec la vue ... Ces effets dépassent donc largement la notion du seul confort acoustique qui consisterait seulement à l'absence de gêne subjective, et la qualité des environnements sonores d'une part, associée au « design sonore » des espaces d'autre part, doivent faire l'objet d'attentions spécifiques pour chaque type de bâtiment.

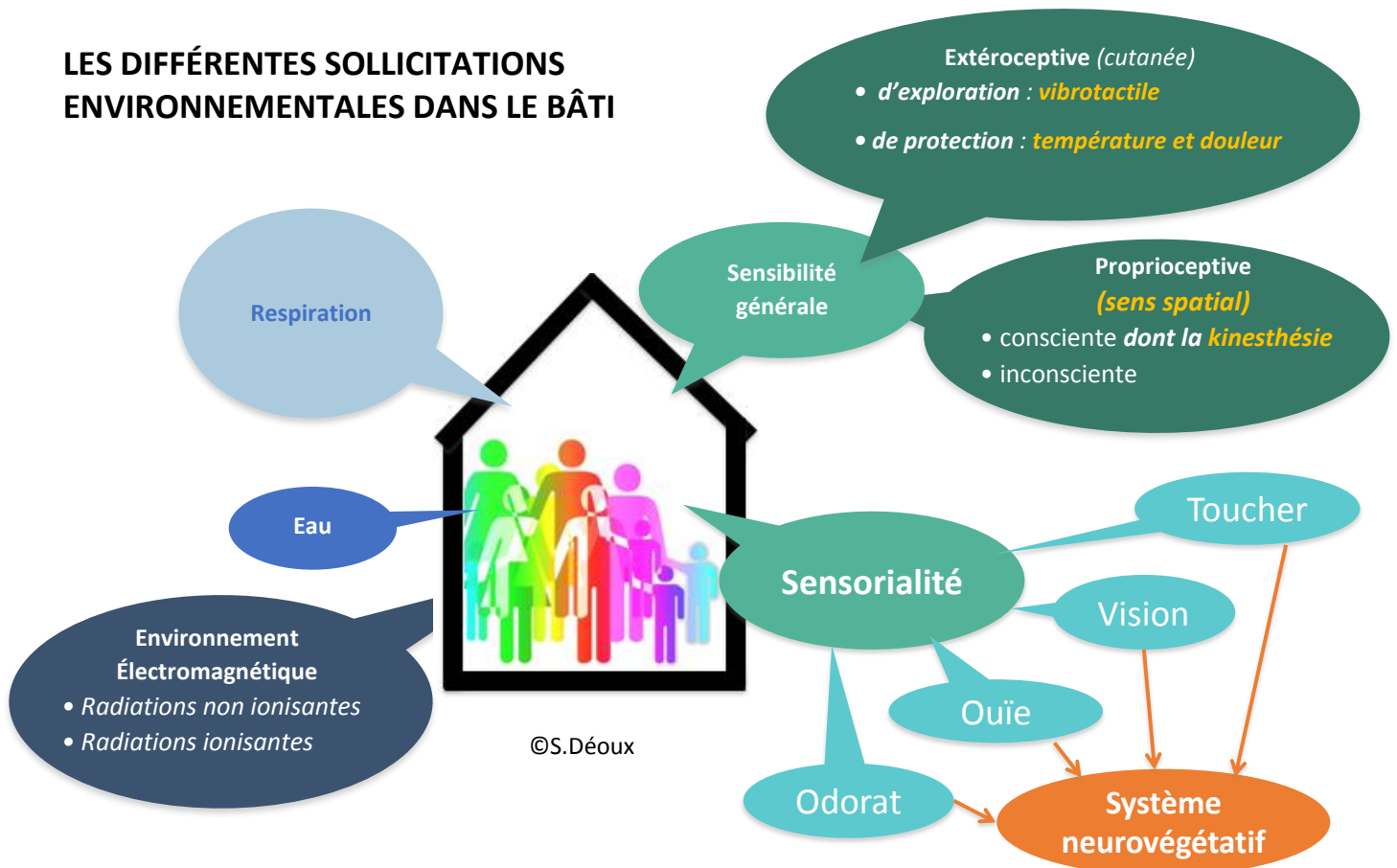
Le toucher ne jouit pas de la même attention que la vue et l'ouïe, considérés comme des sens nobles, des sens sociaux parce qu'ils permettent de communiquer à distance. Pourtant premier sens développé chez l'homme car la peau est chez le premier-né le plus étendu de nos organes sensoriels, le toucher doit être impérativement intégré, par exemple, dans la conception des bâtiments accueillant des enfants. Le besoin de sécurité et d'hygiène ne doit pas évacuer la dimension sensible et émotionnelle du toucher. Le tout-petit prend contact avec son environnement en le touchant. Pour son éveil, toucher est aussi important que voir. **Le lien établi entre la main et le cerveau est fondamental.** Le bâti doit donc être **un espace à toucher.**

Si tout commence par la sensibilité tactile, **l'odorat** apparaît en second lors de la vie fœtale. Sens chimique, la stimulation nerveuse est amorcée par certains composés volatils odorants véhiculés par l'air. Sentir une odeur est la conséquence de la respiration qui ne peut être évitée. C'est un sens qu'on ne peut contrôler, sinon partiellement en se bouchant le nez ! Ce caractère inéluctable de l'odeur est de plus en plus exploité à des fins commerciales, soit en créant des espaces odorisés pour augmenter le temps passé en boutique et se différencier du commerce en ligne, soit en déclenchant des réflexes conditionnés d'achat de produits parfumés, même pour l'entretien des bâtiments. En effet, lié aux émotions pour des raisons anatomiques, l'odorat replonge l'individu dans les situations déjà vécues. Ce marketing olfactif n'est pas sans poser divers problèmes de qualité de l'air intérieur. Les produits avec des fragrances florales, fruitées, forestières, iodées... n'améliorent pas le nettoyage mais dispersent dans l'air des concentrations de plus en plus élevées de composés organiques volatils, surtout des aldéhydes et des terpènes dont les potentialités irritantes et allergisantes interrogent. L'ajout volontaire d'odeurs s'inscrit dans la recherche d'une satisfaction sensible, parfois culturelle. Cette approche hédonique des qualités perçues de l'air fait souvent partie d'une conception multi sensorielle complétée par une odorisation des lieux. A l'opposé, des odeurs désagréables, associées à certaines activités dans le bâtiment ou à des problèmes d'exploitation, ne représentent pas seulement une gêne, mais sont une alerte d'exposition à des substances qu'il faut identifier.

Le bâtiment ne stimule guère **le goût** dont les récepteurs situés sur la langue ne détectent que quatre saveurs : le sucré, le salé, l'amer et l'acide. Si l'eau de distribution subit des traitements et semble « avoir un goût », c'est surtout son odeur qui est perçue en raison des composés odorants véhiculés.

Mais la sensorialité n'est qu'une partie de toutes les sollicitations sensibles reçues par l'organisme dans le bâti.

LES DIFFÉRENTES SOLlicitATIONS ENVIRONNEMENTALES DANS LE BÂTI



3. Par la **sensibilité générale ou somatique**, notre environnement apporte à notre corps de nombreuses informations indispensables.

D'une part, la **sensibilité extéroceptive**, dite plus communément sensibilité cutanée ou superficielle, a plusieurs polarités : sensibilité vibrotactile dite d'exploration, sensibilité à la fois de protection et de perception au froid, au chaud.

D'autre part, la **sensibilité proprioceptive**, véritable sens spatial, est la grande oubliée de la qualité environnementale des bâtiments, particulièrement ceux accueillant des enfants. Le principe du vivant est d'être en mouvement. Le corps sent et comprend l'espace par sa position, son déplacement et la situation des différents segments des membres les uns par rapport aux autres. Cette sensibilité profonde reçoit les informations des récepteurs situés dans les muscles et les articulations. À côté de cette proprioception consciente, la proprioception inconsciente assure l'adaptation rapide dans les ajustements posturaux et la station debout. Tout le corps y participe tant les capteurs sont nombreux. L'environnement dans lequel va évoluer le jeune enfant doit participer à la stimulation globale de la sensibilité somatique. Qu'il soit à quatre pattes ou debout, les différents mouvements et le contact avec le sol activent tous les mécanismes proprioceptifs : la kinesthésie, la sensibilité vestibulaire de l'organe de l'équilibre et les ajustements posturaux.

Faisant appel à ces deux sensibilités, la perception tactilo-kinesthésique est appelée perception haptique des propriétés spatiales (forme, taille, orientation, distance, etc.), des textures (rugosité, dureté et élasticité, etc.).

Enfin, notons que cette sensibilité « générale ou somatique » n'est pas décorrélée de la sensorialité : par exemple, la proprioception permet d'estimer très précisément la position des objets touchés, mais la vision stéréoscopique permet d'estimer la distance des objets qu'on voit, sans les toucher, de même que la perception différenciée sur chacune des oreilles des ondes sonores réfléchies par les mêmes objets permet aussi de les situer dans l'espace, sans les voir ni les toucher... La concordance (et la redondance) des trois sources d'information confère au sujet une grande assurance. À l'inverse, la perte de concordance et de redondance, (par exemple des lunettes mal adaptées, le port de protections auditives, mais également une surface de paroi trop absorbante à

« Bâtiment responsable et santé » - RBR 2020-2050

proximité de l'oreille, des effets miroirs déformants, etc.) conduit à une perte des repères, pouvant entraîner des troubles de l'équilibre, et un sentiment d'insécurité pouvant lui-même déboucher sur des états anxieux.

4. **Par l'environnement électromagnétique**, des interactions avec le corps humain s'effectuent sans l'intermédiaire de structure spécifique. Les rayonnements électromagnétiques créés artificiellement par l'homme dépassent aujourd'hui ceux qui existent naturellement depuis des millions d'années à la surface de la Terre. La sensibilité des enfants est l'une des interrogations majeures des effets à long terme des expositions électromagnétiques. Concernant le champ magnétique généré par les installations électriques et après avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire (ex-AFSSSET) émis en 2010, l'instruction du 15 avril 2018 du ministère de la Transition écologique et solidaire recommande, en matière d'urbanisme, de ne pas implanter des établissements qui accueillent des personnes sensibles (femmes enceintes et enfants) dans des zones exposées à un champ magnétique supérieur à 1 microTesla.

5. **Par l'eau**, aussi indispensable à la vie que l'air, l'homme compense sans cesse les quantités qu'il perd par son métabolisme, ses activités physiques et la chaleur de son environnement. Indispensable à l'hygiène du corps et du bâtiment, l'eau dans des pays développés comme la France, est soumise à une surveillance continue pour écarter les maladies liées aux pollutions hydriques qu'elles soient microbiologiques ou chimiques. C'est le produit alimentaire le plus contrôlé. Il ne faut donc pas que sa qualité puisse être détériorée à l'intérieur des bâtiments, par son transfert dans des canalisations ou des équipements qui pourraient y disperser divers polluants et bactéries.

Le corps humain appréhende donc la globalité de son environnement bâti par tous ses organes, ses sens et sa sensibilité.

II. CONCEVOIR : LE BÂTIMENT RESPONSABLE, L'HOMME AU CŒUR DES PROJETS

Le bâtiment responsable, une réponse aux besoins essentiels des occupants

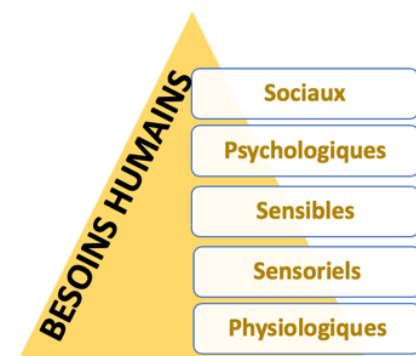
Quels sont ces besoins et comment ceux-ci évoluent-ils en fonction de l'âge des personnes qu'il accueille, des activités qu'il héberge ?

Les préconisations qui concernent les bâtiments « d'habitation », les bâtiments « d'apprentissage », les bâtiments « de soins » ou encore les bâtiments « d'entreprise » ne peuvent répondre aux mêmes objectifs et besoins fonctionnels des résidents qui diffèrent...

Les changements « d'usage », la « réversibilité » des bâtiments devront donc prendre en compte les besoins humains fondamentaux dans leur utilisation future si l'on veut préserver la santé dans son acception globale.

Mais de quels besoins parlons-nous ?

Cette note souhaite couvrir les besoins à prendre en compte par le bâtiment et regroupés en trois familles : les besoins **physiologiques** ou vitaux, les besoins liés à notre **sensorialité** et à notre **sensibilité générale**, les besoins **psycho-sociaux** de sécurité, de protection, d'épanouissement...

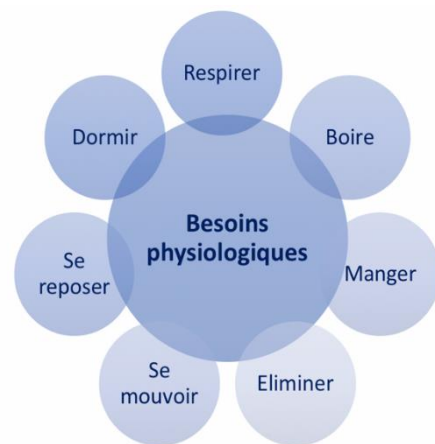


©S.Déoux

1. Les besoins physiologiques

Manger, boire, dormir, respirer, éliminer, bouger, etc. ces besoins s'expriment de façon différente aux divers stades de développement de l'Homme : la crèche, l'école primaire et le bureau ne peuvent donc pas répondre de la même façon à ces besoins physiologiques.

Après avoir été négligée pendant des décennies, la qualité de l'air intérieur respiré 90 % de notre temps devient, en même temps, un enjeu sanitaire majeur et le grand absent des préoccupations énergétiques et environnementales. Ainsi un bâtiment peut être certifié Énergie 4 / Carbone 2 dans le cadre de l'expérimentation E+C- et ne pas assurer un renouvellement d'air suffisant à l'évacuation des polluants.



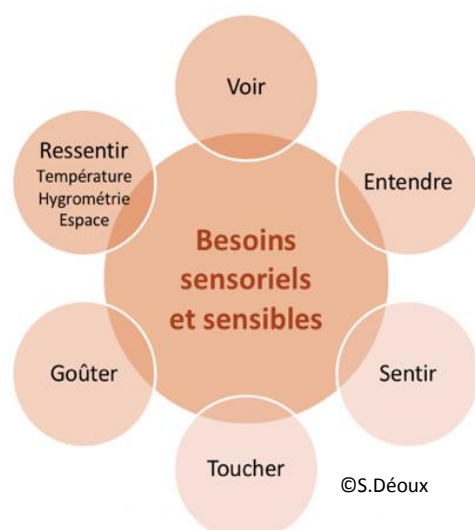
©S.Déoux

Nous dormons un tiers de notre vie. Avoir un sommeil récupérateur sur les plans physique et psychique est essentiel à tout âge, pour les hormones de croissance dans l'enfance, pour le bon fonctionnement de notre système immunitaire, pour l'humeur, la vigilance, la mémorisation, etc. Le bruit est le principal perturbateur du sommeil pour près d'un tiers des personnes, surtout en ville³. Le bruit, s'il ne provoque pas directement un réveil,

³ *Sommeil et environnement*, Résultats de l'enquête INSV / MGEN, Opinionway

modifie les phases du sommeil. Si un sommeil de qualité exige une exposition quotidienne à la lumière du jour pendant plus d'une heure, il exige l'obscurité totale pendant la nuit pour la sécrétion de la mélatonine, dite hormone du sommeil. 24 % des personnes se disent exposées à l'éclairage public dans leur chambre⁴. Le traitement de l'occultation est donc important.

2. Les besoins sensoriels et sensibles



L'espace construit est source d'éveil, d'émotions suscitées par les matières, les textures, les formes, les volumes, la température, les couleurs, les odeurs, les sonorités, les lumières.

Face à leur environnement bâti, la vulnérabilité des jeunes enfants, en plein développement, est plus grande que celle des adultes, même les plus âgés, car elle hypothèque leur avenir physiologique. Elle impose donc que tous les besoins présentés ici schématiquement soient correctement traités dans les espaces de vie qui les accueillent.

Alors que la qualité de vie au travail (QVT) devient une dynamique de plus en plus intégrée dans la construction, le retour sur investissement du coût des aménagements étant facilement quantifiable par l'amélioration des performances et la diminution de l'absentéisme, la qualité de vie à l'école (QVE) est un investissement d'avenir à ne pas négliger.

Un seul exemple. La mauvaise qualité de l'environnement sonore des espaces de vie des enfants a de nombreux effets délétères. En crèche, selon les travaux de Michel Picard de l'école d'orthophonie et d'audiologie de l'université de Montréal, les niveaux de bruit actuels réduisent de façon significative l'intelligibilité de la parole et l'apprentissage verbal chez les enfants qui se désintéressent du langage comme objet ludique en n'y trouvant plus de plaisir. Et quand on sait que le langage structure la pensée, on comprend que les conséquences négatives ne portent pas que sur la maîtrise de la langue.

Plus grands, 70 % des enfants se considèrent perturbés par le bruit lors de la lecture et plus de 60 % estiment qu'ils ont des difficultés de concentration en ambiance trop bruyante, selon les mesures acoustiques et l'enquête réalisées à Lyon par Acoucity, auprès de 300 enfants de 9 à 11 ans. Une étude plus ancienne, menée par le Laboratoire d'Acoustique, de Mesure et d'Instrumentation de l'Université Paul Sabatier à Toulouse, a montré que, dans les conditions d'acoustique médiocre fréquemment rencontrées en milieu scolaire, il était possible de comprendre parfaitement les messages redondants et prévisibles, alors qu'il était impossible de reconnaître correctement des mots inconnus ou improbables. La mauvaise acoustique ne permet que de reconnaître ce que l'on connaît déjà et renforce donc les inégalités sociales. La bonne acoustique d'une école n'est pas un « plus ». C'est un critère intrinsèque à la fonction même des établissements scolaires puisque, par essence, ce sont des lieux de communication et d'acquisition d'un savoir.

Parmi la population française, 87 % des personnes considèrent le bruit comme une nuisance rédhibitoire à la définition de leur logement idéal (devant l'absence d'espaces verts et la pollution). Plus de 7 millions d'individus sont exposés la nuit à de forts niveaux sonores des transports dépassant 55 dB(A) ce qui est élevé à ce moment

⁴ *Sommeil et environnement*, Résultats de l'enquête INSV / MGEN, Opinionway

de la journée et à l'origine des troubles du sommeil qui représentent l'impact le plus fort du bruit des transports : 54 % des 11,5 milliards d'euros par an du coût sur la santé. Outre les troubles neuro-végétatifs liés aux effets extra-auditifs du bruit, ses impacts psycho-comportementaux sont élevés. Au total, le coût social des pollutions sonores est en France de 57 milliards d'euros chaque année, approchant le budget annuel de l'Éducation Nationale de 65 milliards d'euros⁵.

Et encore, cette évaluation ne prend pas en compte tous les secteurs, ainsi, parmi les effets non comptabilisés dans les 57 milliards d'euros, plusieurs études ont montré que le bruit subi en milieu hospitalier ralentit la cicatrisation et augmente le nombre et la durée des infections. Là encore, la bonne acoustique d'un établissement de soins n'est pas un « plus ». C'est un critère intrinsèque à la fonction même de ces établissements.

La sensibilité au froid et au chaud n'est pas assurée par un organe spécifique, mais par toute la surface cutanée. La peau joue à la fois le rôle de capteur de température et de régulateur thermique du corps. La thermorégulation pour le maintien de la température centrale autour de 37 °C a un coût énergétique physiologique en production ou en déperdition de chaleur. La température ressentie ne dépend pas seulement de la température de l'air, mais aussi de sa vitesse et de son humidité. Enfin, la température des parois à proximité de la personne rentre pour la plus grande part des échanges thermiques entre le corps humain et son environnement. Le niveau normal attendu de température opérative dans les bâtiments est de 20 °C en hiver et de 26 °C en été⁶. La température maximale de chauffage de l'air fixée à 19 °C, il y a 40 ans, pour de seules raisons énergétiques, lors des chocs pétroliers, n'est pas fondée sur les besoins physiologiques humains. Il n'est donc pas surprenant que les occupants adoptent un minimum de 20 à 21 °C, surtout pour des activités sédentaires.

Lors des épisodes de chaleur, la fatigue est le premier trouble physiologique. Les capacités neuromusculaires et cognitives sont aussi modifiées et ceci de manière plus importante chez les enfants dont les performances baissent davantage que chez les employés de bureau. De nombreuses personnes ont de plus grandes difficultés d'adaptation à la chaleur, surtout pour les occupants de bâtiments climatisés habitués à des températures stables. Lors des chocs thermiques dus aux changements d'environnement, leur transpiration est diminuée, la montée de la température de la peau est plus lente et surtout, la diminution constatée de la protéine de choc thermique (HSP₇₀) ne peut apporter son effet protecteur.

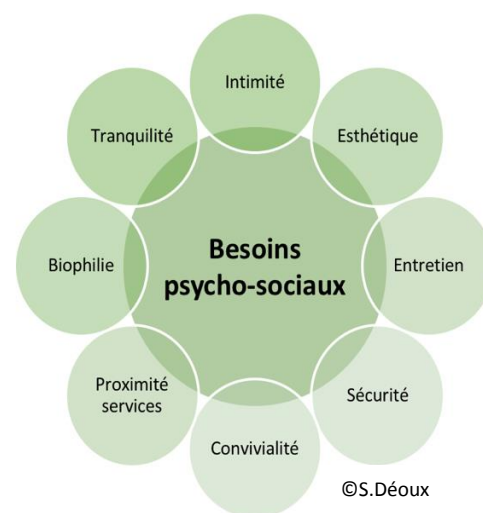
3. Les besoins psychosociaux

Enfin, le Bâtiment Responsable doit répondre aux besoins psychologiques et sociaux de l'Homme, favorisant ainsi **sa capacité à développer des relations et des liens** avec :

Son environnement humain

La conception des lieux doit permettre à la fois :

- de se socialiser dans des espaces conviviaux prévus à cet effet (le salon ou la *Family room* dans le logement, les espaces de jeux, les halls), de développer du sens créatif par la rencontre, de partager des savoirs et l'expérimentation, etc. ;
- d'offrir de l'intimité, du retour sur soi, dans le calme et une certaine sécurité ;
- de s'approprier les espaces pour s'y sentir bien, mieux se repérer⁷.



⁵ Le coût social du bruit – Analyse bibliographique des travaux français et européens, Rapport CNB/ADEME, 2016

⁶ NF EN 15251 Critères d'ambiance intérieure pour la conception et évaluation de la performance énergétique des bâtiments couvrant la qualité de l'air intérieur, la thermique, l'éclairage et l'acoustique

⁷ Fiche n°01. La qualité d'usage des bâtiments. Vers une approche globale des enjeux spatiaux, fonctionnels et humains, Cerema, 2015

L'ouverture des lieux de travail de l'entreprise sur la ville et la création de communautés autour du travail, de la recherche et du partage d'expériences est un exemple de ce besoin de socialisation, même si celui-ci est au départ favorisé par la mise en commun de moyens financiers⁸.

La création de nouveaux lieux de travail (*co-working*) par des collectifs, associations, collectivités territoriales et même de grandes entreprises, démontre ce besoin de création de liens humains entre experts, chercheurs, salariés, entrepreneurs indépendants, artisans, artistes, etc.

Plus récemment, nous voyons renaître la conception « sociale » du bâtiment qui autorise et encourage la mixité des « usages » au sein d'un même bâtiment (habitation, bureau, loisir, services...) et met l'accent, à travers ces nouvelles façons d'habiter, sur la nécessité économique et sociale du besoin de partage : le « *Co-living* » traduit dans la conception de l'espace ce besoin de tisser des liens (lieux partagés) tout en sécurisant la partie intime de la vie (lieux privés). Cette conception n'est d'ailleurs pas sans rappeler les organisations telles que les familistères ou même plus simplement les relais de poste.

Enfin, la conception sociale du bâtiment doit permettre également la mixité générationnelle et l'adaptation sans discrimination aux personnes atteintes de handicap.

Pour autant, les objectifs ambitieux de partage, de mixité et de co-activité ne peuvent être atteints, dans la réalité, que si le bâtiment répond réellement aux exigences de chaque population et de chaque activité, ce qui suppose de mettre « un morceau de nature » dans la ville, d'isoler acoustiquement les activités bruyantes des activités nécessitant du calme.

Son environnement avec le vivant

Le lien avec la nature (végétal, animal...) a un impact positif sur l'Homme et sa capacité à « aimer », même s'il doit être tempéré par des pertes de tolérance vis-à-vis de substances *a priori* inoffensives, comme les allergènes. Cette recherche du « monde du vivant » dans la conception des nouveaux bâtiments prend une ampleur à la hauteur des oublis du siècle précédent.

Nous ne reviendrons pas sur le fait que le Bâtiment Responsable doit intégrer dans l'ensemble de sa filière, et notamment dans les composants du cadre bâti, une politique de la biodiversité⁹.

Notre propos concernant la Santé retiendra les études et préconisations consacrées plus particulièrement au lien établi entre le vivant et le cadre bâti, favorable à l'équilibre physique et psychique de l'Homme. La vue sur l'extérieur, notamment sur la végétation, offre un repère temporel, saisonnier, météorologique.

Le développement de la relation « **santé et paysage** » doit entrer dans la conception du bâtiment en créant un cadre régénérant et en explorant :

- **la biophilie**, qui transcrit l'attrait naturel des êtres humains à s'entourer du vivant. L'approche biophilique dans le bâtiment¹⁰ vise ainsi à la mise en relation des éléments rappelant la nature avec l'homme dans son espace de vie ou de travail. Des expérimentations sur la présence du végétal dans les matériaux de construction, puis dans les lieux de travail sont les plus courantes à ce jour. Mais la présence de l'eau, aux vertus apaisantes (re)commence à être traitée avec la mise en place de systèmes de filtration et de régénération (y compris dans les usines) pour permettre ce lien avec un élément clé de la vie humaine. Retrouver un ancrage avec le monde végétal (le jardin d'agrément ou nourricier) et animal (l'installation de ruchers et la recrudescence de formation en apiculture en sont un exemple), redonne un sens à la vie et procure un sentiment de bien-être¹¹.

⁸ *Confort et bien-être. Quelles traductions à l'heure des nouveaux modes de travail ?*, OID/ADEME, juillet 2019

⁹ Rapport du groupe de travail « *Bâtiment et biodiversité* », Ingrid Nappi-Choulet, Yves Dieulesaint, Thibaud Gagneux, Plan Bâtiment Durable, décembre 2015 http://www.planbatimentdurable.fr/IMG/pdf/rapport_batiment_et_biodiversite_liens_actifs.pdf.

¹⁰ *14 patterns of biophilic design*, <https://www.terrabinbrightgreen.com/reports/14-patterns/>

¹¹ <http://www.millenniumassessment.org/fr>

- **le biomimétisme**, qui consiste à s’inspirer du vivant et des habitats naturels pour repenser les bâtiments et villes humains. Cette approche a pour objectifs de concevoir des bâtiments qui rendent eux même des services écosystémiques (énergies propres, matériaux non toxiques, qualité de l’air, qualité de l’eau, gestion de la lumière naturelle...). Le CEEBIOS¹² atteste de la conscience de l’homme de sa nature biologique et de l’intérêt, pour sa santé et son confort, d’une conception architecturale inspirée du monde du « vivant ».
- **le paysage** a longtemps disparu de **la ville**, procurant aux générations précédentes un sentiment de déracinement et d’appauvrissement, en ce qu’elles « perdaient une partie de leur culture culinaire et alimentaire ¹³» Pour celles qui n’ont pourtant pas connu le monde agricole, les espaces ruraux, le retour de la nature en ville, jusque dans les bâtiments, a procuré une sensation de reconnexion à la terre pouvant aller jusqu’à un enrichissement personnel et culturel. Des associations telles que *Le Vivant et la Ville* œuvrent avec les urbanistes et les architectes à définir et proposer des produits et services innovants au service des écosystèmes en milieu urbain, en veillant à respecter l’équilibre des fonctions naturelles et culturelles des villes.

Son environnement économique

Pour les 70 % d’urbains que comptera la planète à l’horizon 2050, la mixité de la ville (emploi, logement, établissements d’apprentissage, culturels et commerces) est un facteur clé de la recomposition d’une nouvelle urbanité pour ses habitants : elle doit permettre aux résidents dans un souci de mobilité, d’empreinte écologique et de liens sociaux de satisfaire à leurs besoins essentiels (se nourrir et se loger) et secondaires (se cultiver, créer...). Cela ne sera possible que si la conception urbaine et architecturale intègre très en amont la gestion des pollutions, sonores et chimiques, notamment d’une activité sur l’autre.

L’état de la ville, à la suite de la concentration par « Gros cailloux » des fonctionnalités principales à la satisfaction des besoins humains, est comparé, dans le livre *Faire société en ville, une utopie réaliste* d’Alain Maugard et Tristan Benhaïm, à un organisme nécrosé et asphyxié. Pour remédier à ces maladies, les auteurs engagent à repenser la ville à travers un développement dynamique reposant sur la diversité, la centralité et la connectivité.¹⁴

Son environnement technologique et numérique

Le numérique est devenu un agent puissant de transformation de notre vie quotidienne. De nouveaux services apparaissent, de nouveaux objets connectés voient le jour, de nouveaux usages émergent, offrant à chacun un choix toujours plus vaste, stimulant ainsi nos capacités d’interaction avec le monde qui nous entoure. Les objets connectés sont des opportunités d’ajustement du bâtiment aux besoins des occupants qui varient selon leurs activités et le moment de la journée. Par exemple, le confinement des locaux est réduit grâce à des capteurs de CO₂ qui régulent les débits de ventilation et l’ouverture des fenêtres de toit.

Dans les établissements de santé, l’intégration du numérique est source d’innovations qui contribuent à la qualité de vie. La sécurité des malades est facilitée par une signalétique adaptée, un guidage via des applications sur tablettes ou smartphones. Des scénarios d’éclairage adapte la lumière aux traitements. Des capteurs de sols alertent les soignants en cas de chute d’un patient.

¹² <https://ceebios.com>

¹³ *Territoires, incubateurs de santé ?*, Les cahiers de l’IAU IdF N° 170-171, septembre 2014

¹⁴ Note thématique « *Bâtiment Responsable et Intelligence artificielle* », RBR 2020-2050, Plan Bâtiment Durable, mai 2018
« *Bâtiment responsable et santé* » - RBR 2020-2050

L'architecture, une réponse thérapeutique aux besoins des occupants

L'architecture intervient largement dans le **soin** porté aux habitants par la prise en compte de la santé physique, psychique et sociale dans l'acte de conception.

1. La santé physique

L'architecte incorpore une fonction thérapeutique à son œuvre, par sa conception physique : résistance et pérennité du cadre bâti, choix des matériaux, adaptation aux handicaps, physiques, mentaux et plus globalement à l'adaptabilité aux problèmes de dégénérescence de toute une population.

Le nombre, la dimension et la disposition des ouvertures à la lumière naturelle ont une influence sur la perception que les individus ont de l'espace qui les entoure. « Un espace sans lumière naturelle ne pourra jamais appartenir à l'architecture »¹⁵.

Le choix des matériaux de façade et des modes constructifs notamment pour prévenir la précarité énergétique est un des éléments forts de son engagement dans la société civile et de sa responsabilité vis-à-vis des futurs occupants¹⁶.

L'approche passive du confort d'été par l'architecture devient aussi un réel enjeu. L'augmentation de la chaleur en ville est le fait d'une trop forte minéralisation, des activités humaines mais aussi des propriétés radiatives et thermiques du bâti. Le *Cool Roof (toitures réfléchives peintes en blanc)* est proposé pour limiter les effets d'îlot de chaleur urbain et contribuer au confort d'été des occupants. Après un retour d'expérience très positif à New-York, la Ville de Paris l'a testé sur une école primaire où la température des classes du dernier étage était de 38 °C. Le *Cool Roof* a ainsi diminué de 6 °C la température des classes protégées.

Dans les départements ultramarins en zone tropicale, il est urgent que la conception des bâtiments soit adaptée à la climatologie locale avec utilisation prioritaire des moyens passifs : végétalisation, brises, enveloppe performante, bâtiment traversant, protection solaire de la toiture et des vitrages, etc. La climatisation ne peut être la solution systématique, surtout dans des locaux non équipés de système de renouvellement d'air comme les salles de classe.

Le concept de *Design Actif*¹⁷ né outre-Atlantique et notamment au Canada, permet à l'architecte de prendre part à la prévention des maladies en veillant à la santé des occupants par une conception capable de procurer un environnement sain et réparateur afin d'anticiper les pathologies affectant nos styles de vie urbains et sédentaires.

Pour lutter contre la sédentarité, la conception des bâtiments doit repenser un véritable « parcours santé » et œuvrer comme une action thérapeutique contre les maladies cardio-vasculaires. L'exemple de l'immeuble Via verte à New York a permis, par exemple, d'introduire cet axe thérapeutique fort pour la santé physique par le biais d'une activité physique accrue : jardins dynamiques organisés en terrasses successives, accessibles par de larges escaliers extérieurs naturellement éclairés et aérés, conduisant vers une toiture plantée en espaces partagés.

Ce concept de « *Design Actif* » et durable vise à intégrer des designs efficaces dans l'architecture des bâtiments et de la ville, éléments invisibles, omniprésents et inévitables de la vie, afin de prévenir les phénomènes

¹⁵ Louis Isadore Kahn, architecte américain, maître de la lumière.

¹⁶ Rapport du groupe de travail « Précarité énergétique », Alain de Quero et Bertrand Lapostolet, Plan Bâtiment Durable, décembre 2009

¹⁷ Active Design Guidelines, <https://centerforactivedesign.org/dl/guidelines.pdf>

grandissants du surpoids, de l'obésité, des maladies cardiovasculaires et autres maladies chroniques. Le label OsmoZ¹⁸ est une adaptation au contexte français des modes de vie et de travail.

Tout cheminement intérieur ou extérieur ne doit pas être perçu comme un temps perdu de déplacement, mais comme un temps d'inspiration grâce à la mise en scène des circulations et à leur traitement à un niveau équivalent aux autres espaces. Si on a longtemps utilisé les surfaces non qualitatives des bâtiments, centrales et sans lumière naturelle, la pratique s'inverse depuis une dizaine d'années. La conception des bâtiments donne déjà aux escaliers une place de premier plan. Ils deviennent pratiques, visibles depuis l'entrée et les ascenseurs, plaisants et bien signalés, voire des lieux de rencontre (paliers d'étage) et d'expérience (art et musique).

2. La santé psychique

Le **traitement des circulations**, corridors, espaces partagés au rez-de-chaussée des immeubles et désormais également sur les toitures terrasses, et **l'étude des flux de rencontres**, ont également pour vocation à traiter les phénomènes d'isolement des populations en créant davantage d'opportunités de création de liens sociaux et prévenir le développement de maladies psychiques liées à trop de solitude.

De la même façon, les lieux aménagés de façon à offrir, dans un hôpital, un espace garantissant une interaction fluide entre les médecins, patients et familles ont démontré un impact positif sur la guérison des maladies. « *L'exemple des Maggie centers en Grande-Bretagne promeut une nouvelle idée du confort, non plus au seul sens ergonomique ou thermique du terme, mais comme une sensation générale du bien-être, à la fois sensoriel et psychologique* »¹⁹.

L'aménagement de terrasses végétalisées au sein du bâtiment et la possibilité de voir un cadre de verdure ont également un effet apaisant voire curatif sur les malades. L'étude menée dans un hôpital sur l'effet créé, sur les patients, par la vue d'un jardin, a démontré des résultats positifs sur les chances de guérison. Les jardins deviennent aussi thérapeutiques quand le jardinage accompagne la reconstruction, améliore l'estime de soi, apaise et soulage. Les dernières cliniques privées livrées en France sont un exemple très réussi de la prise en compte de l'ensemble de ces éléments dans la conception architecturale des bâtiments, démontrant l'attention à la santé et au bien-être apportée aux patients ainsi qu'à l'ensemble de la communauté qui y vit : médecins, personnel hospitalier, familles...

3. La santé sociale

Comme nous venons de le voir, la conception architecturale du bâtiment a un impact direct sur la capacité de ses occupants à tisser des liens.

A l'intérieur des bâtiments, la conception architecturale et l'aménagement des circulations horizontales et verticales jouent un rôle pour favoriser les échanges et le lien social au-delà des seuls espaces de rencontre dédiés. Il peut ainsi s'agir de proposer des trames ouvertes avec une réflexion sur le croisement des flux entre points d'intérêt pour favoriser la rencontre. Dans les bureaux, cette réflexion sur les trames et le positionnement des différents espaces communs contribue à renforcer un esprit d'équipe ou encore permet à une meilleure

¹⁸ <https://osmoz.certivea.fr>

¹⁹ *En imparfaite santé : la médicalisation de l'architecture*, Giovanna Borasi et Mirko Zardini, (dir.), Centre canadien d'architecture, Canada et Lars Müller Publishers, Suisse, 2012

collaboration entre services. Cependant, qu'il s'agisse « d'esprit d'équipe » dans une zone de travail ou de lien social dans des espaces de circulation, il ne faut pas oublier que l'objectif ne sera atteint que si l'acoustique des espaces considérés le permet.

De la même façon que la conception des flux intérieurs au bâtiment est réfléchi pour créer des rencontres entre les « habitants » et plus largement les utilisateurs, le bâtiment doit être connecté avec la ville, dans un dialogue porteur de liens et de communication entre les sphères privées et publiques, autorisant une certaine porosité à des usages autres que celui pour lequel il a été conçu et construit : la mixité des usages, tant temporaire que dans la durée est un vecteur de citoyenneté et d'intégration.

La construction de la ville doit faire appel à des urbanistes qui repensent la ville comme étant un organisme vivant dont le métabolisme (respiration, rejet, irrigation et flux, congestion et pathologies) doit s'adapter aux grandes ruptures dont nous avons parlé en introduction (technologique, démographique et énergétique) et non comme des solutions qui viennent panser un corps inerte dont la morphologie ne permet plus les échanges de marchandises, la libre circulation des hommes et l'accès pour tous à l'éducation et à la culture.

III. PRÉVENIR : LE BÂTIMENT RESPONSABLE, VERS UNE DIMINUTION DES COÛTS SANITAIRES

Depuis deux décennies, les nombreuses études californiennes conduites notamment par William Fisk ont chiffré les économies réalisées en diminuant les conséquences d'exposition à des agents pathogènes dans les bâtiments. L'amélioration de la productivité, l'éviction des gripes et des rhumes, la diminution des troubles allergiques et des symptômes du syndrome des bâtiments malsains obtenues par de meilleurs environnements bâtis apporteraient aux États-Unis, pour les seuls bâtiments tertiaires, un bénéfice annuel de 17 à 48 milliards de dollars. Comparé au coût de l'augmentation des débits de ventilation et de l'efficacité des systèmes de filtration : le rapport bénéfice/coût obtenu est de 8 à 14. D'autres évaluations réalisées par Milton concluent que l'augmentation de la ventilation conduirait à un rapport bénéfice/coût de 3 à 6 et à une économie annuelle de 400 dollars par employé.

Le bâtiment, un espace de vie qui n'expose pas à des agents pathogènes.

Face aux divers risques récurrents d'exposition des personnes à divers polluants dans l'environnement bâti, une approche globale d'anticipation et d'amélioration dans l'acte de construire et de réhabiliter devient donc une nécessité.

Lors de toutes les phases clés, de la programmation à l'exploitation, en passant par la conception, la construction et la réception, l'ensemble des acteurs doit pouvoir disposer d'outils méthodologiques, techniques et de communication pour intégrer la protection de la santé des occupants. C'est ainsi que la méthode globale et rigoureuse de management de la qualité de l'air intérieur, ECRAINS (*ex-MANAG'R*), a été développée et expérimentée par l'ADEME.

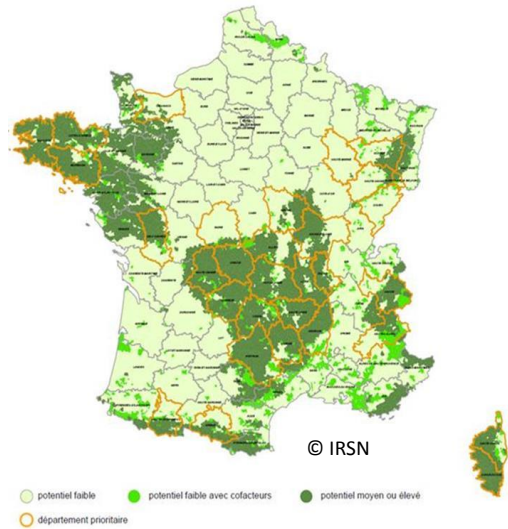
Pour relever le défi de bâtiments plus performants pour la santé, six actions sont indispensables pour limiter l'exposition aux polluants physiques, chimiques et microbiologiques présentés dans le tableau suivant.

DANS LES BÂTIMENTS, LIMITER L'EXPOSITION HUMAINE AUX		
agents physiques	agents chimiques	agents biologiques
Radioactivité dont radon	Composés organiques volatils	Virus
Rayonnements électromagnétiques	Composés organiques semivolatils	Bactéries
Fibres	Aldéhydes	Moisissures
Particules	Composés volatils inorganiques	Pollens
Nanoparticules	Métaux	Insectes
Bruit		©S.Déoux

1. Les performances sanitaires du bâti sous influence ... du sous-sol

D'éventuelles pollutions du sol d'origine anthropique (lié à des activités passées (hydrocarbures aromatiques ou chlorés, etc.) ou d'origine naturelle (radon, amiante) justifient la mise en œuvre de traitement et/ou une étanchéité à l'air correcte de l'interface entre le sol et le bâtiment pour empêcher la migration de substances volatiles.

Le radon, gaz radioactif d'origine naturelle, est responsable de 3 000 cancers du poumon par an en France (IRSN, 2017), où c'est la deuxième cause de ce cancer, après le tabac et avant l'amiante²⁰. Il est maintenant pris en compte dans les politiques de prévention des risques naturels et de qualité de l'air intérieur avec un niveau de référence de 300 Bq/m³ à respecter et une valeur recommandée de 100 Bq/m³ par l'Organisation Mondiale de la Santé. Le décret du 4 juin 2018 crée trois zones à potentiel radon que l'arrêté du 27 juin 2018 précise pour chacun des départements de métropole et d'outre-mer. Une cartographie à l'échelle communale remplace le zonage départemental, trop imprécis. L'information des acquéreurs et des locataires de l'existence de ce risque est obligatoire.



Plus globalement, la prise en compte des caractéristiques hydrogéologiques du site est **indispensable** dans un contexte de changement climatique qui peut augmenter divers risques naturels, dont les inondations et l'augmentation de l'humidité dans le bâti, par exemple, construit à un mètre au-dessus d'une nappe alluviale.

2. Les performances sanitaires du bâti sous influence... de l'environnement extérieur

Les conditions climatiques

Le bâtiment ne peut être conçu sans une analyse fine des données climatiques du site : vents dominants, pluviométrie, températures moyenne et maximale, durée d'insolation, relief, etc.

Si la recherche du confort thermique en hiver a été au centre des préoccupations depuis des années, il devient indispensable de protéger les occupants de chaleurs excessives en été par une conception adaptée des bâtiments et un panel de solutions techniques : inertie, déphasage, protections solaires, ventilation traversante, isolation de la toiture, albedo élevée des surfaces, ombrage aux abords immédiats des bâtiments et évapotranspiration des plantes en plusieurs strates, lutte contre les îlots de chaleur, etc. La climatisation, avec les possibles problèmes de santé associés, ne peut apparaître comme l'unique solution. Les chocs thermiques sont préjudiciables à la santé de tous, mais tout particulièrement des personnes fragilisées par l'âge, la maladie, etc.

La végétation

L'allergie aux pollens est une maladie dite environnementale et la pollution atmosphérique augmente l'allergénicité des pollens. La conception des plantations urbaines est donc un élément central de la problématique de l'allergie pollinique en ville, problème de santé publique qui concerne 20 % de la population

²⁰ Quantitative health impact of indoor radon in France, Ajrouche R, Rodier C, Cléro E, Ielsch G, Gay D, Guillevic J, Marant Micallef C, Vacquier B, Le Tertre A, Laurier D., Radiat Environ Biophys, 2018 : 57(3) : 2015-214

française. Connaître le potentiel allergisant des différentes essences et favoriser une diversité d'espèces est un préalable à la végétalisation qui est indispensable pour répondre à la biophilie humaine.

L'air ambiant

La pollution atmosphérique extérieure, liée principalement au trafic routier, mais aussi aux sites industriels, au chauffage urbain, aux traitements phytosanitaires agricoles et à beaucoup d'autres sources, est responsable du transfert vers l'air des bâtiments de différents polluants parmi lesquels les oxydes d'azote (NO et NO₂) et les particules fines (PM_{2,5} et PM₁). Sans action spécifique, la concentration intérieure de ces traceurs de la pollution urbaine est identique à celle mesurée à l'extérieur et dépasse très souvent les valeurs guides pour l'air intérieur. Des actions à la fois sur les sources de pollution ambiante et sur le traitement de l'air apporté aux bâtiments s'avèrent indispensables sur certains sites, quand on connaît le poids sanitaire lié à l'exposition aux particules dans les bâtiments. Par an, il est en France de 14 milliards d'euros et de 14 162 décès (ANSES, 2014).

3. Les performances sanitaires du bâti sous influence ... des produits de construction et de finition

Si la qualité sanitaire des bâtiments ne dépend pas uniquement des matériaux utilisés, leur rôle reste néanmoins important.

Une approche multicritères est essentielle pour évaluer les différents paramètres de tous matériaux qu'ils soient minéraux, biosourcés, recyclosourcés, réemployés, réutilisés, et leur impact sanitaire :

- l'émission de composants organiques dont la plus ou moins grande volatilité conditionne leur concentration et leur durée de présence dans l'air ;
- la mise en suspension dans l'air de fibres et de particules, minérales ou organiques ;
- le comportement des matériaux face à l'humidité et leur résistance face au développement fongique. Si l'hygroscopie des matériaux organiques est présentée comme un atout, un excès d'humidité peut favoriser la croissance fongique, source d'allergènes, de composés volatils, de substances irritantes et de toxines. Une mise en œuvre soignée et un renouvellement d'air adapté garantissent une bonne tenue dans le temps ;
- les performances acoustiques afin d'éviter la transmission des vibrations sonores ;
- les performances thermiques pour assurer une régulation des températures, hiver comme été ;
- la teneur en radioéléments pour les matériaux minéraux.

En France, depuis le 1^{er} janvier 2012, l'étiquetage obligatoire des produits de construction et de décoration sur leurs **émissions en polluants volatils** donne une information simple et lisible du niveau d'émission de 10 polluants dont le formaldéhyde, cinq hydrocarbures aromatiques, un éther de glycol et les composés organiques volatils totaux. Chaque polluant fait l'objet d'une classification allant de A+ (très faibles émissions) à C (fortes émissions). Le produit n'est étiqueté A+ que si les teneurs de toutes les substances sont inférieures aux valeurs seuils sanitaires.



Les produits concernés par cette nouvelle réglementation sont les produits de construction ou de revêtements de parois amenés à être utilisés à l'intérieur des locaux, ainsi que les produits utilisés pour leur incorporation ou leur application. Sont ainsi concernés cloisons, faux-plafonds, revêtement de sols, murs ou plafond, isolants,

portes et fenêtres, peintures, vernis, colles, primaires, etc. dans la mesure où ceux-ci sont destinés à un usage intérieur. Alors que les produits dérivés du bois revêtus doivent être étiquetés, les panneaux bruts de particules, de MDF et d'OSB ne sont pas concernés par cette obligation alors qu'ils peuvent être aussi en contact avec l'air intérieur, soit en revêtement de cloisonnement, soit en plancher sous revêtement plus ou moins poreux.

Si les matières premières sont issues de l'écorce terrestre, directement ou indirectement (résidus industriels), la teneur en radionucléides doit être connue. Certains de ces **matériaux NORM** (*naturally occurring radioactive materials*) peuvent engendrer une exposition plus importante des occupants aux rayonnements gamma et à l'exhalation de radon. Pour limiter ce risque, l'indice de concentration d'activité massique « I » doit être inférieur à 1 et le niveau de référence pour l'exposition aux rayonnements gamma émis par les matériaux à l'intérieur des bâtiments au-dessous de 1 mSv/an. Le décret du 4 juin 2018²¹ liste les matériaux concernés par l'obligation de caractérisation radiologique qu'ils soient naturels ou contenant des résidus industriels.

L'infiniment petit incite à la nanoprudence

La montée en puissance des nanotechnologies, qui laissent entrevoir des bénéfices considérables et l'avènement d'une nouvelle industrie avec des fabrications en masse, mobilise les toxicologues. Les nanoparticules sont, par consensus international, des particules de taille inférieure à 100 nanomètres. Un certain corpus de connaissances démontre clairement que, pour une même substance, les particules nanométriques sont plus toxiques que celles qui ont des dimensions micrométriques. Pour un volume inhalé identique, une particule de 5 micromètres correspond à 12 500 particules de 100 nanomètres (0,1 µm). La surface de contact avec les tissus biologiques est 50 fois plus élevée par unité de masse, ce qui accroît la réactivité avec les membranes et molécules biologiques.

De nouvelles fonctionnalités sont apportées aux produits et aux revêtements du bâtiment par les nanomatériaux. L'ajout de billes de fumée de silice amorphe, ayant un diamètre 100 fois plus petit que les grains de ciment et une surface spécifique très élevée, améliore la résistance des ciments et des bétons. Les nanotubes de carbone suscitent un intérêt considérable compte tenu de leurs propriétés exceptionnelles, mécaniques, électriques et chimiques alors que les connaissances relatives aux dangers pour la santé humaine sont encore très lacunaires. Le béton, les vitrages, les peintures, les revêtements plastiques, les céramiques deviennent autonettoyants et épurateurs de l'air grâce à la photocatalyse liée au dioxyde de titane (TiO₂) de taille nanométrique. En 2010, cette substance a été classée cancérigène probable par le centre international de recherche sur le cancer de l'OMS, en raison de l'évidence suffisante de cancérigénicité chez l'animal. Par ajout de nano-argent, les produits acquièrent des propriétés antibactériennes et antifongiques.

Compte tenu de l'engouement suscité par ces nanomatériaux, le nombre de travailleurs exposés devrait augmenter au cours des prochaines années.

Le risque sanitaire est le produit de l'exposition et de la toxicité. La connaissance de la nocivité des nanomatériaux étant actuellement insuffisante, la diminution des expositions est la première action à mettre en place. L'efficacité des équipements actuels de protection individuelle (EPI) interroge face aux nanomatériaux, par exemple, lors du ponçage d'une peinture contenant des nanoparticules. Le nanomonde : petite taille, grand danger ?

La mise en œuvre des produits et systèmes, une phase clé pour la qualité sanitaire ultérieure du bâtiment

Les ponts thermiques engendrés par la discontinuité de l'isolation en raison d'une mise en œuvre défectueuse des isolants augmentent les risques de condensation et de développement de moisissures durant la vie du bâtiment. De même, le manque de siccité des chapes est une source durable d'émission de composés organiques volatils par hydrolyse des composants des colles et des revêtements. La maîtrise de l'humidité en phase chantier est actuellement un défi pour des bâtiments dont l'enveloppe est plus étanche à l'air. Le recours à une ventilation

²¹ Décret n° 2018-434 du 4 juin 2018 portant diverses dispositions en matière nucléaire
<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000036984723&categorieLien=id>

de chantier et à des déshumidificateurs s'avère nécessaire pour conserver les performances des différents matériaux. Les ateliers AIRBAT® réalisés sur le chantier sensibilisent les compagnons.

À l'heure où l'étanchéité des bâtiments isole les usagers des bruits extérieurs, l'acoustique intérieure est un point à traiter avec attention. Toute nuisance sonore intérieure est décuplée qu'elle soit causée par un équipement sonore dont la mauvaise mise en œuvre augmente le bruit ou par les usagers eux-mêmes.

4. Les performances sanitaires du bâti sous influence ... des divers équipements et de leur maintenance

Les sources de lumière artificielle ont des effets photobiologiques désirés et non désirés. À la frontière avec les ultra-violets, le spectre de la lumière visible a deux plages de bleu : le bleu turquoise dans la bande de longueur d'onde comprise entre 460 et 480 nm, très utile dans la journée pour la stimulation circadienne et le bleu-violet, dans la bande des 415-455 nm, zone critique d'atteinte rétinienne (dégénérescence maculaire liée à l'âge, DMLA). Le choix de LEDs d'éclairage, mais aussi des différents écrans (ordinateurs, smartphones) doit être guidé par leur composition spectrale. Un projet d'éclairage conçu dans les règles de l'art ne doit pas générer d'exposition directe de l'œil aux sources de lumière.

Les systèmes de climatisation, par la pulvérisation d'eau dans le flux d'air, ont révélé une bactérie hydrique ubiquitaire, inconnue en pathologie jusqu'en 1976 avant qu'elle reçoive le nom de ses victimes, des légionnaires américains. À partir de 1999, différents textes réglementaires, des modifications techniques et un contrôle spécifique des tours aéroréfrigérantes ont permis de réduire les contaminations intérieures et extérieures. De même, la surveillance des points critiques des **réseaux d'eau chaude sanitaire** dans différents types de bâtiment recevant du public ont permis de réduire et de stabiliser le nombre de cas de légionelloses depuis 2010. Néanmoins 1 200 à 1 500 cas sont recensés en moyenne par an.

Tout équipement de combustion pour le chauffage de l'eau et de l'air ou pour la cuisson est susceptible, s'il est mal conçu, inadapté, défectueux et non entretenu, de contaminer l'air intérieur par du monoxyde de carbone, du benzène, des particules fines, etc. Pour favoriser une bonne combustion et diminuer les teneurs en polluants, le développement actuel des poêles à bois impose la conception d'installations avec apport d'air comburant spécifique, soit par un conduit en façade, soit par un conduit à double paroi.

La qualité de l'air intérieur est à la merci du *renouvellement d'air*. En effet, pour garantir un air intérieur qui réduise l'exposition des occupants à divers polluants et maîtriser le taux d'humidité relative dans les bâtiments, un renouvellement d'air suffisant est essentiel. Pourtant, en raison de son impact sur la consommation d'énergie des bâtiments et des désordres régulièrement constatés sur les chantiers, le simple respect des débits d'air réglementaires relève trop souvent du parcours du combattant. Les retours de terrain montrent que la qualité finale des systèmes de ventilation reste quasi-systématiquement négligée en raison de défauts soit, de conception, de mise en œuvre ou de maintenance. Les logements individuels neufs ayant fait l'objet d'un contrôle réglementaire de la rubrique « aération » accusent un taux plutôt alarmant de 68 % de non-conformité et de 44 % pour les logements collectifs (CETE Lyon, 2012).

5. Les performances sanitaires du bâti sous influence ... de leur usage

L'amélioration de la qualité de vie dans les bâtiments passe par la prise en compte des usagers le plus en amont possible dans les projets, parfois par leur accompagnement à des comportements les plus actifs possible²², mais surtout, et dans tous les cas, pour concevoir et mettre en œuvre un équipement qui ne rentre pas en conflit avec l'utilisateur.

Au-delà de la réponse fonctionnelle du bâtiment à l'usage, le bâtiment doit répondre aux besoins des usagers. L'étape déterminante est donc le recueil de leurs attentes et l'identification de leurs besoins. La conception des bâtiments durables reste dominée par la dimension technique et se contente trop souvent de n'aborder que la question de l'assimilation des concepts techniques par les usagers. Les hypothèses comportementales restrictives à la conception sont contournées à l'usage par les occupants, ce qui conduit à des contre-performances²³. Il est toujours plus facile et plus efficace d'adapter l'équipement à l'utilisateur, que de tenter d'adapter l'utilisateur à l'équipement.

Les dérives des performances énergétiques sont alors expliquées par un comportement peu vertueux des usagers qui pourraient être suspects de privilégier leur confort aux performances. Certaines évaluations relèvent ainsi que « la quasi-totalité des bâtiments étudiés présente des températures intérieures d'air plus élevées que la limite supérieure de température de chauffage de 19 °C donnée par l'article R131-20 du Code de la Construction et de l'Habitation ²⁴ ». Comme cette température conventionnelle fixée pour de seules raisons énergétiques, lors des chocs pétroliers des années 1970, ne répond pas aux besoins physiologiques humains, il n'est pas surprenant que les occupants adoptent un minimum de 20 à 21 °C, et pour ce faire peuvent apporter, par exemple, des radiateurs électriques d'appoint fonctionnant hors de tout contrôle.

Les effets sanitaires d'un usage inadapté des bâtiments et de leur manque de maintenance concernent tout particulièrement la qualité de l'air des bâtiments : mauvaises pratiques d'aération et de renouvellement d'air, absence d'entretien, suremploi de produits de nettoyage et d'ambiance parfumés, etc. De larges campagnes publiques pédagogiques s'avéreraient nécessaires, aussi bien à destination des usagers que des concepteurs et des constructeurs.

6. Les performances sanitaires du bâti sous influence ... des acteurs de l'acte de construire

Chacune des thématiques traitées dans cette note renvoie à des savoirs qui ne sont pas encore partagés par la plupart, et ne le seront vraisemblablement pas avant longtemps. Enfin, comme dans tout projet, quel que soit son domaine, ses objectifs, son ambition, ses contraintes, ce qui différencie un **projet réussi** d'un autre, c'est la capacité que les acteurs de la maîtrise d'ouvrage, de la maîtrise d'œuvre, de la réalisation et de l'exploitation, ont mis en œuvre, pour, d'une part, identifier et hiérarchiser les éléments constitutifs du programme et, d'autre part, y répondre en **réalisant LE compromis** entre les différentes contraintes. Les projets de bâtiments responsables, respectueux de la santé de l'Homme, n'échappent pas à cette règle, et pour être réussis, tous les acteurs de la construction devront, chacun à leur niveau, et avec sa spécificité propre à sa contribution, avoir en leur sein les compétences nécessaires.

C'est ainsi que :

²² *Prendre en compte et accompagner les usagers sur les enjeux de santé dans le bâti*, Ville & Aménagement durable, 2015

²³ *Santé et confort dans les bâtiments*, Ville & Aménagement durable, 2017

²⁴ *Performances réelles des bâtiments, Retours d'expérience - Enseignements des campagnes de suivi et d'évaluation de 14 opérations instrumentées par l'ADEME en Rhône-Alpes*, Ville & Aménagement durable, 2016

- la maîtrise d'ouvrage devrait acquérir en interne, ou s'adjoindre, les **compétences d'identification et de hiérarchisation des attentes et des besoins**, de conseil en santé-bâtiment, en ergonomie, etc. ;
- la maîtrise d'œuvre devrait acquérir en interne, ou s'adjoindre, les **compétences de traduction des objectifs de résultats** (pouvoir dormir, profiter d'insertions de nature sans éternuer, comprendre le message parlé, n'avoir ni chaud ni froid, en été comme en hiver, respirer sans être irrité, bénéficier d'espaces mis en lumière, etc.) **en objectifs de résultats mesurables** (isolement acoustique normalisé, niveau de contamination fongique, taux d'intelligibilité de la parole, température, vitesse et degré hygrométrique de l'air, facteur lumière du jour, concentration de polluants de l'air, etc.) et définir et dimensionner des moyens constructifs permettant d'y répondre ;
- les entreprises de réalisation devraient acquérir en interne, ou s'adjoindre, les **compétences permettant de concourir aux résultats visés par une mise en œuvre adaptée, et respectueuse des autres corps de métiers**.

Le groupe RBR 2020-2050 pourrait contribuer à une redéfinition des missions (normalisées) de maîtrise d'œuvre et des Avis Techniques afin que ces documents intègrent la préoccupation Santé dans l'acte de construire.

Par ailleurs, le sujet de la mise en place d'un système de qualification de la qualité du cadre bâti et de son environnement²⁵, unique et partagé, permettrait déjà d'y voir plus clair dans l'ensemble des préconisations existantes, et, de toute façon, concourra à la prise en compte de la préoccupation santé-bâtiment. En effet, la place de la santé dans les certifications existantes est encore variable selon les certificats visés. Certains organismes (Certivea, Leed...) ont créé des extensions de leurs certificats originaux tels qu'OsmoZ ou WELL qui ont vocation à prendre en compte la santé et le bien-être.

Même si cela relève de l'utopie et notamment au niveau européen, il faudrait tendre vers une **convergence des certifications dans le domaine de la santé** embarquant à la fois la conception, la réalisation, l'exploitation et la maintenance.

²⁵ Première restitution du groupe de travail « Signes de qualité », Jacqueline Faisant et Yves Dieulesaint, Plan Bâtiment Durable, 07 juillet 2011

<http://www.planbatimentdurable.fr/premiere-reunion-de-restitution-des-propositions-a244.html>

IV. PROSPECTIVE ET BONNES PRATIQUES : 5 RECOMMANDATIONS POUR UN BÂTI RESPECTUEUX DE LA SANTÉ DE L'HOMME.

Cette note, qui a pour objectif de replacer les défis pour l'Homme au cœur de la problématique de la Santé et du bâtiment, ne peut assurément traiter de tous les sujets qui ont donné lieu à tant d'études de théories et de projets concrets. Chaque thématique effleurée dans cette note mériterait à elle seule un développement qui pourrait être l'objet d'un groupe de travail du groupe RBR 2020-2050.

D'autre part, si l'on constate une mise en mouvement des acteurs de l'industrie immobilière vers ce sujet de la santé et du cadre bâti, la volonté du groupe RBR 2020-2050 est de pouvoir donner à l'ensemble de la profession une hiérarchisation des priorités et dresser un constat entre l'état de l'art à ce jour et les objectifs à atteindre pour mettre en œuvre les réponses à la prévention des maladies. **Car prévenir coûte souvent moins cher humainement et financièrement que de guérir.**

A tout le moins, nos préconisations à ce stade de l'étude pourraient se résumer à :

1. La mise en œuvre des matériaux de construction et des équipements dans le bâtiment

- **Évaluée** par la mise en œuvre d'une évaluation sanitaire de tous les matériaux de construction (traditionnels, bas carbone, issus de l'économie circulaire, etc.) des produits de pose et des équipements auprès des constructeurs et des Industriels ;
- **Contrôlée** par la mise en place réglementaire de mesures à réception, par tierce personne, des systèmes de ventilation mais aussi de chauffage (bois, notamment) lorsque la combustion se produit dans les espaces de vie ;
- **Qualifiée**, dans les processus achats des entreprises et répertoriée dans une cartographie des risques à partir de l'évaluation sanitaire qui précède ;
- **Maintenable**, en évitant les substances nocives et les agents pathogènes : problématique des phénomènes allergiques, de contamination, des dysfonctionnements des installations de ventilation, etc.

2. La prise en compte de l'impact de l'environnement quotidien sur le bien-être de l'homme

- **Quantifiée**, à travers des solutions de mesure de qualité de l'air, de l'eau, de la lumière, de l'environnement sonore, des enquêtes d'évaluation de l'impact du bâtiment sur la performance de l'enseignement, des soins, et de l'entreprise, le recueil du ressenti des occupants par questionnaires en ligne ou sur leur smartphone ;
- **Corrigée**, à travers des solutions de diagnostic et des mesures correctives, par exemple, de l'hygrométrie et du développement des moisissures, de l'éclairage naturel et artificiel, de l'acoustique, etc. ;
- **Aidée**, financièrement pour la lutte contre la précarité énergétique, mais aussi pour la remédiation des expositions au radon vu les connaissances techniques acquises actuellement ;
- **Reconnue**, en encourageant une exigence réglementaire notamment de qualité de l'air intérieur avec définition des objectifs à atteindre (concentrations maximales de polluants cibles à ne pas dépasser) ;
- **Pilotée**, dans un chemin étroit entre régulation et adaptation au ressenti des occupants.

3. La santé traitée de façon globale du bâtiment à la ville

- **Intégrer** l'intelligence artificielle²⁶ dans le monitoring des composantes santé du bâtiment et qualité de vie des occupants ;
- **Mettre en place** des leviers de transformation de comportement plus sains par des aménités au service de tous : activité physique, nutrition plus équilibrée (restauration collective, animation de communautés d'utilisateurs et mixité sociale, organisations de conférences (élus) sur la prévention des maladies et les addictions ;
- **Favoriser** la mobilité par des parcours physiques, en portant une attention particulière aux modalités de transports et de cheminements ;
- **Concevoir** un urbanisme favorable qui intègre la santé environnementale dans les projets d'aménagement territoriaux pour réduire les facteurs de risque et promouvoir la santé.

4. La santé sociale, un enjeu à prendre en considération avec plus d'attention

- **Éduquer** les occupants au fonctionnement d'un bâtiment pour en assurer la pérennité et ne pas annihiler l'efficacité des moyens mis en œuvre ;
- **Accompagner** la mixité intergénérationnelle et le « faire ensemble » ;
- **Favoriser** l'inclusion de l'ensemble des populations, dans le cadre d'une conception universelle, source de qualité d'usage pour tous ;
- **Faciliter** l'appropriation des espaces en prenant en compte les besoins de territorialisation, de socialisation et d'intimité ;
- **Diversifier** les moyens et lieux de communication, respiration, de partage et concentration ou d'intimité au sein du bâtiment et des quartiers²⁷.

5. La santé sociétale, un axe à dynamiser

- **Développer** l'économie circulaire en intégrant la santé dans la boucle, (restauration de l'environnement, « fonction thérapeutique » du bâtiment et de la ville, réemploi des matériaux, création de nouvelles filières respectueuses de l'environnement et de la santé) ;
- **Choisir** des solutions frugales (produits et conception) et des modes opératoires simples et pérennes basés sur l'étude du biomimétisme pour une meilleure acceptation des choix par l'organisme humain ;
- **Développer** les occasions de créer du lien au sein des bâtiments et de la ville en ouvrant des espaces de porosité entre lieux publics et privés ;
- **Favoriser** l'accès à la culture en promouvant l'art sous toutes ses formes dans le respect de la qualité de vie des occupants.

²⁶ Note thématique « *Bâtiment responsable et intelligence artificielle* », RBR 2020-2050, Plan Bâtiment Durable, mai 2018

²⁷ *Ambiance urbaine et ville sensorielle*, Ville & Aménagement Durable, 2014

Annexe : Liste des contributeurs

NOM	Prénom	Structure
ACCARD	Yves	Association Bâtir sain
ALFARE	Aurélien	ACCTEES
BIDAULT	Elsa	Energies Demain
BOUDOT	Emmanuelle	EDF
BOUSSEMART	Philippe	Groupement du Mur Manteau
CARRETERO	Noélie	Cerema
CAUMONT	Jean-Louis	
CHARLOT-VALDIEU	Catherine	
CORGIER	David	MANASLU
COULOMBIE	Fanny	Ville & Aménagement Durable
DONNART	Zacharies	COOLROOFERS
ESTINGOY	Philippe	AQC
GAMBA	René	CINOV – Gamba Acoustique
GRANDPERRET	Maud	SANAE Architecture
KAMELGARN	Yona	Certivea
KEMPF	Martin	Institut Français de baubiologie IBEF
LEBLANC	Frédéric	ALTEREA
MOREL	Catherine	CAUE de la Réunion
NAUMOVIC	Jean-Marc	Construire en chanvre
OUTREQUIN	Philippe	LA CALADE
PELEGRIN	François	
PITARD	Héloïse	VELUX
SAINT-DONAT	Magali	ADI
VREL	Carine	DREAL Bourgogne-Franche-Comté