

Comprendre les bases des *smart buildings*



n° 45

2024

Innovation
Paper

Comprendre les bases des *smart buildings*

La présente publication a été élaborée par Buildwise dans le cadre de la Guidance technologique C-Tech. Elle s'appuie sur le 'Guide pratique Smart Buildings', un document publié par le Centre en mars 2022 à l'initiative du réseau d'entreprises innovantes *Smart Buildings in Use*.

Auteurs : Ruben Delvaeye (Buildwise), Ruben Decuypere et David Grillet (ex-Buildwise)

Les organisations suivantes étaient représentées dans les groupes de travail qui ont conduit à l'élaboration du document 'Guide pratique Smart Buildings' et ont ainsi également contribué à la réalisation de la présente publication : BESIX, Bureau Bouwtechniek, Dago, EEG Group, Embuild Vlaanderen, Embuild.Brussels, Embuild Wallonie, Freestone, Het Facilitair Bedrijf, GIA, Honeywell, Ingenium, PROCOS Group, Renson, Spacewell, SUMI Smart & Connected Buildings, Techlink, Trigr, Van Roey Services, VINCI Facilities Belgium, VMA, Volta et W-Care.

Jasper Meynen (Ingenium), Tim Opsomer (Ingenium), Jean-Marc Poncelet (SB Experts), Michael Van De Poel (SB Experts), Peter D'Herdt (Buildwise) et Véronique Vanwelde (Buildwise) ont mis la touche finale au document par leur relecture rigoureuse.

Le contenu de cette publication est explicitement soutenu par les organisations suivantes : ABB Benelux, AMAVI, Appartementor, Ask Nestor, aug-e, B.E.G. Belgium, BELIMO Belgium, BESIX, Bouwunie, Bureau Bouwtechniek, ComTIS Group, dnergy, DTplan, EEG Group, Embuild.Brussels, Embuild Vlaanderen, Embuild Wallonie, Engilux, Equans Digital, Freestone, Het Facilitair Bedrijf, Honeywell, Ingenium, IoT Factory, Kieback & Peter Belgium, Priva Belgium Building Intelligence, PROCOS Group, Resus, Schneider Electric, Spacewell, SUMI Smart & Connected Buildings, Techlink, Van Roey Services, VINCI Facilities Belgium, VMA, Volta, Willemen Groep NV (y compris W-Care) et Yazzoom.

Publication élaborée dans le cadre de C-Tech (Construction Technology Sustainable Building Innovation), la Guidance technologique en Région de Bruxelles-Capitale, un partenariat de Buildwise en collaboration avec Embuild.Brussels et Volta, avec le soutien d'Innoviris.



Sommaire

1	INTRODUCTION	7
1.1	À propos de cette publication	7
1.2	Public cible	7
1.3	À propos du cluster <i>Smart Building</i>	8
2	QU'EST-CE QU'UN <i>SMART BUILDING</i> ?	9
2.1	<i>Smart building</i> : une brève définition	9
2.2	Conception intelligente	10
2.3	<i>Smart building</i> : une définition exhaustive	11
2.4	Évolution vers des <i>smart buildings</i>	13
2.5	Domaines d'application des <i>smart buildings</i>	14
3	ÉTUDES DE CAS : QUEL RETOUR SUR INVESTISSEMENT ?	17
3.1	Éléments à considérer	17
3.1.1	Champ d'application et objectifs	17
3.1.2	Bénéfices directs et indirects	17
3.1.3	Coûts à long terme pour le maître d'ouvrage	18
3.1.4	Bénéfices à long terme pour l'entreprise	19
3.1.5	Utilisation intelligente des données disponibles	20
3.1.6	Investir dans l'avenir	20
3.2	Exemples concrets	21
3.2.1	Gestion intelligente de l'énergie	21
3.2.2	Maintenance et gestion intelligentes des bâtiments	24
3.2.3	Gestion intelligente des lieux de travail	25
3.3	La valeur ajoutée des <i>smart buildings</i> pour les entrepreneurs et le secteur de la construction : témoignages	26
3.3.1	D'un installateur à un fournisseur de solutions complètes	26
3.3.2	Valeur ajoutée 2.0 du groupe Vanhout	27
3.3.3	Assurer l'avenir de l'entreprise à l'ère du numérique	27
3.3.4	Bewel opte pour un modèle d'adjudication innovant	27
3.3.5	Une intégration verticale qui va au-delà de la construction pour le groupe Cordeel	28
3.3.6	Quand plus de monitoring rime avec davantage d'opportunités	28
3.3.7	Le nouveau bâtiment de Buildwise : un site de démonstration grandeur nature	28

4	VERS UN <i>SMART BUILDING</i> : PLAN PAR ÉTAPES POUR RENDRE UN BÂTIMENT PLUS INTELLIGENT	29
4.1	Étape 1 : étude de marché et consultation d'experts préalables (processus itératif)	32
4.2	Étape 2 : définition de l'objectif	33
4.3	Étape 3 : cartographie des fonctionnalités souhaitées	35
4.4	Étape 4 : cartographie des exigences techniques	37
4.5	Étape 5 : rédaction du cahier des charges	40
4.6	Étape 6 : mise en œuvre des prescriptions du cahier des charges	42
4.7	Étape 7 : réception du projet	43
4.8	Étape 8 : utilisation du bâtiment et maintien des performances sur sa durée de vie	43
5	POINTS D'ATTENTION POUR LES <i>SMART BUILDINGS</i>	46
5.1	Interopérabilité, compatibilité et ouverture	46
5.2	Cybersécurité	47
5.3	Fiabilité	48
5.4	Vie privée et propriété des données	50
5.5	<i>Commissioning</i>	51
5.6	Gestion et maintenance des systèmes intelligents	52
5.7	Couverture sans fil	53
6	OUTILS ET LABELS EXISTANTS	54
7	CONCLUSIONS	55
	ANNEXE A – CONCEPTS ASSOCIÉS	56
	ANNEXE B – LISTE D'ABRÉVIATIONS	61
	BIBLIOGRAPHIE	64

1 Introduction

1.1 À propos de cette publication

Les expériences du réseau d'entreprises innovantes *Smart Buildings in Use*, devenu entretemps le cluster *Smart Building*, ont montré que les donneurs d'ordre ou maîtres d'ouvrage, les entrepreneurs, les intégrateurs et les autres parties prenantes du processus de construction ou de rénovation définissaient le concept de *smart building* de manière différente. En outre, ces acteurs ont besoin de soutien pour opérer les choix fonctionnels et techniques nécessaires à leurs projets de *smart buildings*.

La présente publication s'efforce de répondre à ces questions. Elle fournit des informations sur l'interprétation du concept de *smart building* et explore quelques modèles de rentabilité de projets de *smart building* afin de démontrer qu'augmenter l'intelligence d'un bâtiment peut offrir une valeur ajoutée significative tant pour l'entrepreneur que pour le client. Outre quelques réflexions générales sur les investissements à consentir pour parvenir à un bâtiment plus intelligent, le document aborde des exemples concrets étayés par des chiffres. Il montre ainsi que de réelles opportunités s'offrent aux entrepreneurs, en particulier sur le plan de la maintenance et de la gestion, mais aussi en matière de gestion de l'énergie.

Cet Innovation Paper se penche également sur les premiers jalons à poser dans un projet de *smart building*. Ceux-ci constituent un plan en huit étapes qui peut être appliqué tant lors de la construction d'un bâtiment que lors de la mise en place d'un nouveau système intelligent au sein d'un ouvrage existant. À cet égard, nous analysons l'ensemble du parcours, depuis l'esquisse et la conception jusqu'à l'exploitation du bâtiment, en passant par l'exécution des travaux et la réception.

Enfin, la publication aborde aussi divers points de vigilance qui doivent absolument être pris en considération dans tout projet de *smart building*.

Les informations contenues dans ce document doivent permettre au lecteur de mieux comprendre les possibilités offertes par les *smart buildings* et les solutions que ces derniers peuvent amener en vue de répondre aux besoins et de prévenir ou de résoudre des problèmes. Cet Innovation Paper entend ainsi fournir un point de départ concret au lecteur afin qu'il se lance dans un projet de *smart building* en connaissance de cause, et ce, à l'aide d'un certain nombre d'études de rentabilité et de points de vigilance.

Les *smart buildings* livrent leur principale valeur ajoutée aux entrepreneurs et à leurs clients (propriétaire, locataire, utilisateur, etc.) pendant la phase d'exploitation du bâtiment. La numérisation du processus de conception et de construction ainsi que l'utilisation des technologies intelligentes sur les chantiers ne sont pas abordées dans cette publication.

Pour un complément d'informations et des recommandations concernant les *smart buildings*, on peut se référer au livre blanc (à paraître) du cluster *Smart Building*.

1.2 Public cible

Cette publication s'adresse aussi bien aux entrepreneurs, aux installateurs et aux entreprises de maintenance qu'aux donneurs d'ordre ou maîtres d'ouvrage dans le cadre de projets de construction et de rénovation. Ce deuxième groupe est assez large puisqu'il peut notamment inclure des clients privés et publics, des sociétés de logement social, des promoteurs ou encore des propriétaires.

Les gestionnaires de bâtiment et les *facility managers* (gestionnaire des services de support) jouent un rôle central pour garantir que le bâtiment offre un environnement efficace, sûr, fonctionnel et confortable. Les

équipements mis en œuvre dans un *smart building* peuvent y contribuer de manière significative. Par conséquent, la présente publication s'adresse aussi à ces acteurs.

Pendant les phases de conception et de construction, les architectes et les bureaux d'étude jouent un rôle clé dans la définition des exigences fonctionnelles et techniques du projet de *smart building*. C'est pourquoi nous souhaitons également les sensibiliser et les informer au moyen de cette publication.

Enfin, cet Innovation Paper peut s'avérer utile pour de nombreux autres acteurs dans le cadre de leurs discussions avec le client : fabricants de matériel et de logiciels, consultants *smart building*, etc.

1.3 À propos du cluster *Smart Building*

Le cluster *Smart Building* réunit des entreprises et des institutions avant-gardistes qui aspirent à proposer des solutions innovantes pour rendre les bâtiments, ainsi que leurs installations techniques et systèmes, plus intelligents. Cette initiative consiste principalement à gérer et maintenir les bâtiments, les installations techniques et les systèmes de manière plus efficace (et numérisée). Elle vise également à améliorer l'efficacité énergétique, la durabilité, le confort et le ressenti des utilisateurs. Grâce aux nouvelles technologies, les bâtiments peuvent devenir des fournisseurs de services pour leurs occupants, ce qui permet de répondre à des attentes de plus en plus fortes.

Le cluster *Smart Building* émane du réseau d'entreprises innovantes *Smart Buildings in Use*, fondé en 2018 avec le soutien de VLAIO (*Vlaams Agentschap Innoveren & Ondernemen*). En 2022, cette initiative a évolué en un cluster du même nom (cluster *Smart Buildings in Use*), mené dans le cadre de C-Tech, la Guidance technologique en Région de Bruxelles-Capitale, avec le soutien d'Innoviris. Depuis le printemps 2024, cette initiative est désignée sous le nom de cluster *Smart Building*.

Vous trouverez de plus amples informations à ce sujet et les données des personnes de contact sur le site Internet www.clustersmartbuilding.be.

2 Qu'est-ce qu'un *smart building* ?

2.1 *Smart building* : une brève définition

En quoi consiste un *smart building* ou bâtiment intelligent ? Depuis quelques années, ce sujet alimente de nombreuses discussions, tout simplement parce qu'il revêt des significations différentes pour un grand nombre de personnes. Formuler une définition unanime constitue donc un exercice périlleux.

Nous exposons ci-après le point de vue de Buildwise à ce propos en nous concentrant sur différents aspects.

Un *smart building* ou bâtiment intelligent est un bâtiment durable et énergétiquement performant qui peut être utilisé et géré de manière efficace grâce à une conception intelligente, aux installations nécessaires et à des systèmes connectés. Un bâtiment intelligent permet d'optimiser le confort et l'expérience des utilisateurs. Il vise en outre une gestion efficace de l'énergie et fournit toutes sortes de services aux propriétaires, locataires, utilisateurs, gestionnaires, etc.

Une analyse précise des besoins des différents acteurs du bâtiment (ci-après dénommés 'les utilisateurs') est menée pendant la phase de préparation de la construction ou de la rénovation pour déterminer les services qui leur seront fournis par le bâtiment intelligent. Les utilisateurs du bâtiment et leurs besoins sont donc au cœur du *smart building* (voir figure 1).



Fig. 1 Un *smart building* permet aux utilisateurs, aux gestionnaires et à d'autres acteurs de l'utiliser et de le gérer de manière efficace (source : adapté de Shutterstock).

Un *smart building* est un bâtiment durable et énergétiquement performant qui peut être utilisé et géré de manière efficace, grâce à une conception intelligente, aux installations nécessaires et à des systèmes connectés.

Les services fournis impliquent souvent l'intervention d'un tiers. Il peut s'agir, par exemple, de fabricants ou de fournisseurs de solutions logicielles et matérielles, mais aussi d'entrepreneurs, d'installateurs et de sociétés de maintenance ou encore de prestataires de gestion des services de support.

La technologie constitue un catalyseur important des solutions offertes par les *smart buildings*. Elle permet en effet de recueillir des données sur les bâtiments et leur utilisation, de connecter différents systèmes et sources d'information, d'analyser les informations obtenues et d'automatiser certaines opérations. L'utilisation du bâtiment sera ainsi facilitée et les performances de celui-ci améliorées.

Les solutions offertes par les bâtiments intelligents continueront sans aucun doute d'évoluer dans les années à venir. Pourtant, les *smart buildings* appartiennent au présent, car ils répondent à des besoins qui se font déjà très clairement ressentir aujourd'hui. De nombreuses solutions sont en outre déjà disponibles sur le marché pour les satisfaire. L'évolution vers les *smart buildings* commence donc à s'ancrer lentement mais sûrement dans la pratique quotidienne. En d'autres termes, il importe de prendre en compte cette évolution dans les projets actuels afin que les bâtiments soient prêts à répondre aux besoins d'aujourd'hui et de demain.

Par ailleurs, nous tenons à souligner que la mise en œuvre de *smart buildings* ne se limite pas aux seuls projets de nouvelle construction. Les rénovations offrent également un éventail très large de possibilités pour obtenir un bâtiment plus intelligent.

2.2 Conception intelligente

La conception intelligente peut couvrir différents aspects du bâtiment. Une répartition réfléchie des espaces en fonction de l'orientation du bâtiment permet, par exemple, de réduire la consommation d'énergie, tandis qu'un choix judicieux de revêtement de sol rendra l'entretien plus efficace et réduira par conséquent les frais de nettoyage. Un aménagement intelligent du bâtiment permettra, quant à lui, d'optimiser la circulation des utilisateurs (voir figure 2).

Cette publication se concentre sur les aspects technologiques des *smart buildings* (installations et systèmes connectés pour créer de la valeur ajoutée). Bien qu'une approche réfléchie de la conception, de la gestion et de la maintenance des bâtiments – abstraction faite de l'utilisation de technologies (intelligentes) – forme une stratégie judicieuse, son application ne suffit pas pour qualifier un bâtiment de *smart building*. Par contre, une conception intelligente est considérée comme une condition nécessaire pour qualifier un bâtiment d'intelligent.

En d'autres termes, pour pouvoir être désigné comme un *smart building*, le bâtiment doit non seulement être équipé de technologies intelligentes (mise en œuvre de processus de collecte et d'analyse des données ainsi que de l'automatisation afin de générer de la valeur ajoutée pour les utilisateurs, le bâtiment et l'environnement, p. ex.), mais il doit aussi être conçu de manière intelligente. En revanche, si les technologies servent simplement à éliminer les erreurs ou les défauts qui se sont posés lors de la phase de conception ou d'exécution, on ne peut pas qualifier le bâtiment de *smart building*.

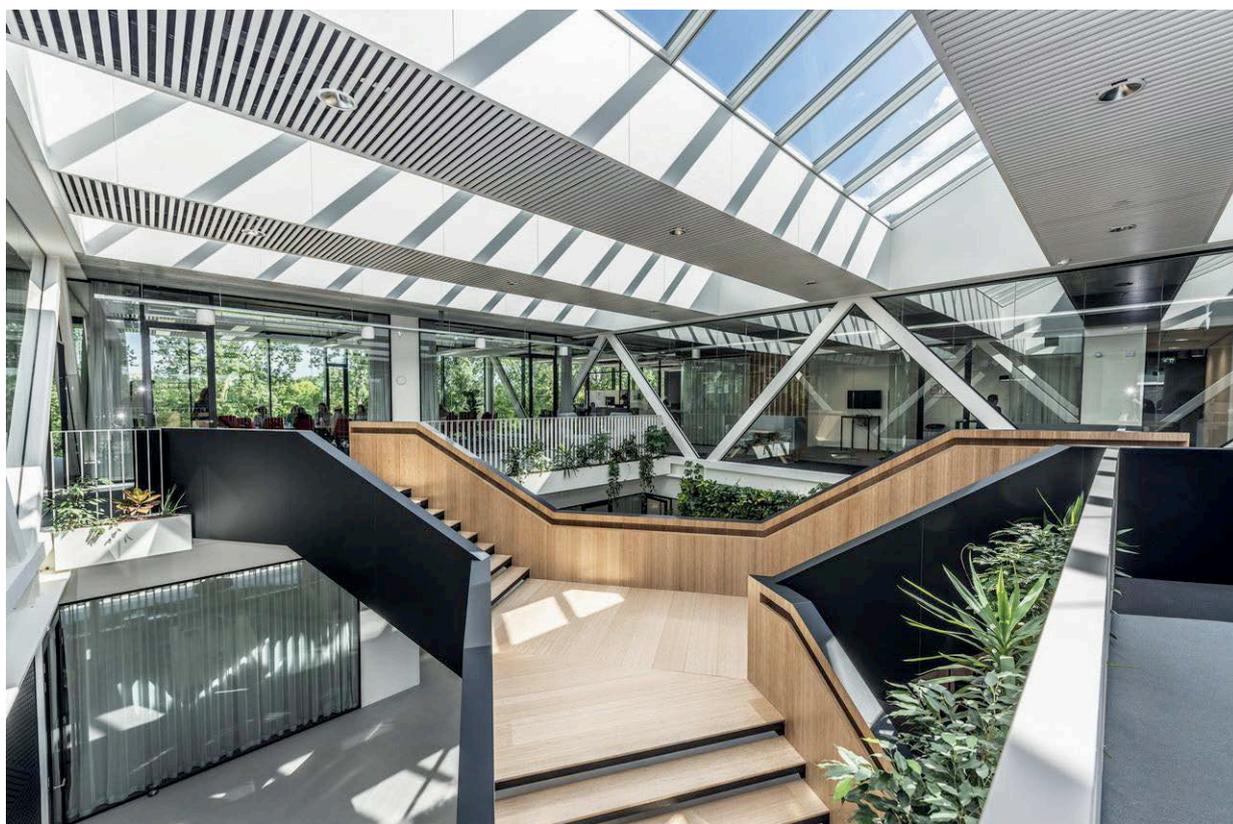


Fig. 2 Le siège de BESIX Nederland à Dordrecht est intelligent non seulement en raison de l'intégration de diverses technologies, mais aussi de sa conception. Ainsi, la transparence du bâtiment assure une bonne vue d'ensemble et un apport élevé en lumière naturelle sans induire un risque de surchauffe.

2.3 *Smart building* : une définition exhaustive

Établir une définition précise et unanime de la notion de *smart building* est un exercice délicat. Le point de vue de Buildwise est expliqué au § 2.1 (p. 9). Nous énumérons ci-après quelques aspects complémentaires souvent associés à ce concept par d'autres acteurs du domaine (liste non exhaustive) :

- **données et monitoring** : la quantité de données relatives au bâtiment et à son utilisation qui sont recueillies par des capteurs, connectées à d'autres sources de données et analysées via une plateforme de stockage et de traitement des données connaît une forte augmentation
- **connectivité** : un nombre croissant de composants et de systèmes qui fonctionnaient indépendamment autrefois sont aujourd'hui interconnectés ou reliés
- **plateformes/protocoles/communication/services ouverts** : les *smart buildings* sont souvent associés à un idéal de communication ouverte entre les systèmes ou les composants dans lequel les solutions de différents fournisseurs peuvent interagir en toute fluidité
- **automatisation** : l'automatisation poussée, qui a vu le jour grâce aux technologies intelligentes, a non seulement une incidence positive sur la facilité d'utilisation du bâtiment pour les différents utilisateurs, mais améliore aussi les performances de ce dernier (économies d'énergie, sécurité, gestion de la maintenance, etc.)
- **systèmes d'auto-apprentissage** : les algorithmes d'auto-apprentissage sont en plein essor et peuvent désormais être appliqués aux systèmes et à l'automatisation
- **évolutivité et capacité de mise à jour** : on suppose que les *smart buildings* peuvent assez facilement évoluer de manière dynamique au fil du temps en fonction des besoins des utilisateurs et des circonstances variables (climat, répartition des lieux de travail, etc.)
- **interaction avec l'utilisateur ou approche centrée sur l'utilisateur (*user centricity*)** : l'utilisateur joue un rôle de plus en plus prépondérant. Aujourd'hui, le bâtiment doit ainsi améliorer sans cesse le service

à l'utilisateur (expérience utilisateur : confort, sécurité, facilité d'utilisation, santé, etc.) et les possibilités d'interaction se multiplient (au moyen d'écrans d'information, de panneaux de commande, d'applications pour *smartphone*, etc.)

- **villes intelligentes (*smart cities*) et quartiers intelligents (*smart districts*)** : des solutions à plus large échelle peuvent procurer des avantages au niveau du quartier ou de la ville (gestion de l'énergie, solutions de mobilité, p. ex.).

La présente publication définit trois fonctions de base pour un *smart building* (voir figure 3) :

- collecter des données et fournir des informations sur le bâtiment et son utilisation (monitoring, analyse comparative, etc.)
- offrir des possibilités d'automatisation et d'optimisation
- créer des possibilités d'interaction avec l'utilisateur et placer ce dernier au cœur de la démarche (*user centricity*).

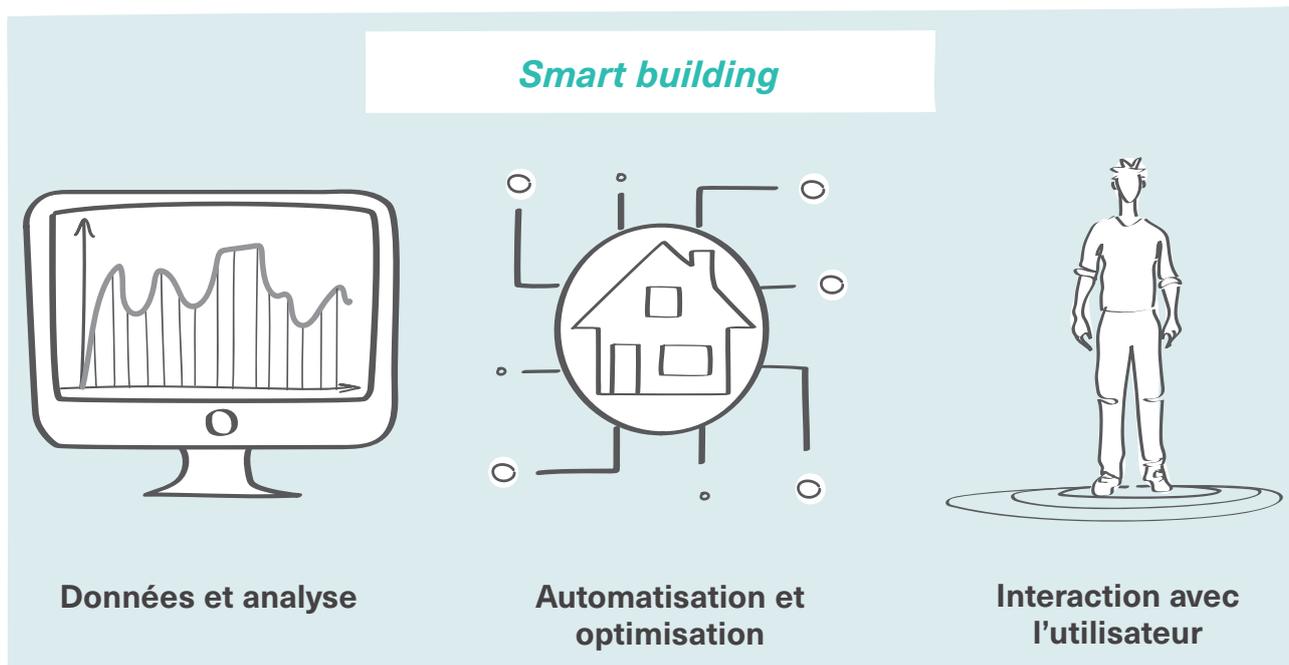


Fig. 3 Fonctions de base d'un *smart building*.

Ces trois fonctions de base sont ensuite illustrées par un exemple concret de la manière dont elles peuvent contribuer à rendre le bâtiment plus intelligent dans la pratique :

- **données et analyse** : le gestionnaire de bâtiment ou le *facility manager* d'un *smart building* peut en visualiser l'occupation à tout moment (bureaux, salles de réunion, cantine, etc.). En outre, il peut recueillir des statistiques sur l'historique du taux d'occupation et les utiliser pour prendre des décisions en ce qui concerne, par exemple, la surface utile requise ou l'agencement de la pièce
- **automatisation et optimisation** : dans un bâtiment intelligent, les différentes installations techniques (système de chauffage ou de refroidissement, protections solaires, éclairage, etc.) peuvent être réglées sur la base d'une multitude de paramètres tels que la température extérieure, l'apport de lumière naturelle, etc. Par ailleurs, le bâtiment est capable d'apprendre de son utilisation en vue d'optimiser continuellement le réglage de ses systèmes. Les utilisateurs sont toutefois libres d'adapter les systèmes à tout moment selon leurs souhaits
- **interaction avec l'utilisateur** : les *smart buildings* permettent aux utilisateurs d'interagir avec le bâtiment par le biais d'applications (sur leur *smartphone*, tablette ou ordinateur portable) et d'utiliser tous les services offerts par le bâtiment à partir d'un environnement central (accès au bâtiment, gestion de l'éclairage et des protections solaires, réservation d'un poste de travail, d'une salle de réunion ou d'une place de parking, commande d'un repas, notification de problèmes, etc.).

Un *smart building* a pour but ultime de créer de la valeur ajoutée pour les utilisateurs, le bâtiment et l'environnement.

Un *smart building* permet de tirer le meilleur parti des données recueillies, d'améliorer les interactions avec l'utilisateur et de mettre en œuvre l'automatisation afin d'optimiser les performances du bâtiment. Ainsi, la collecte de données et l'automatisation de certaines opérations au moyen de technologies intelligentes ne constituent jamais une fin en elles-mêmes. L'objectif ultime de la conception et de la construction d'un *smart building* est de créer de la valeur ajoutée pour les utilisateurs, le bâtiment et l'environnement.

Cela se traduit de plusieurs manières :

- maximisation des **aspects positifs** tels que :
 - le confort (acoustique, visuel, lié à la qualité de l'air, etc.)
 - la flexibilité
 - l'expérience utilisateur
 - l'optimisation de l'occupation
 - la durabilité
- diminution des **aspects négatifs** tels que :
 - la consommation d'énergie
 - l'impact environnemental
 - les coûts, dont ceux liés au cycle de vie : total des coûts relatifs à la construction, des coûts de l'énergie, des frais relatifs à la maintenance, au nettoyage et aux renouvellements, des frais opérationnels, etc.

Les *smart buildings* offrent la possibilité de proposer des services innovants ou d'améliorer des services existants qui contribuent à un ou plusieurs des aspects susmentionnés. De nouveaux modèles d'entreprise peuvent être utilisés à cette fin. Cette situation crée ainsi de réelles opportunités pour les entrepreneurs ainsi que pour les installateurs et les sociétés de maintenance, surtout en matière de gestion du bâtiment, de maîtrise de l'énergie et de maintenance.

Les *smart buildings* permettent d'offrir des services innovants grâce à de nouveaux modèles d'entreprise. Cette situation crée des opportunités pour les entreprises du secteur, surtout en matière de gestion, de gestion de l'énergie et de maintenance.

2.4 Évolution vers des *smart buildings*

Traditionnellement, les différentes installations techniques (éclairage, HVAC, sécurité, p. ex.) et les systèmes d'information (*building management system* (BMS), *facility management information system* (FMIS), *integrated workplace management system* (IWMS), etc.) ont souvent tendance à coexister et à fonctionner séparément. Qui plus est, au fil des ans, les installations techniques et les systèmes d'information se sont multipliés et sont devenus plus sophistiqués (et plus complexes). Toutefois, en raison notamment de leur complexité, de nombreux systèmes ne fournissent actuellement pas les performances annoncées (*performance gap*). L'utilisation d'une large gamme d'installations et de systèmes pour toutes sortes d'applications peut aussi entraîner une certaine confusion et mener à des situations indésirables telles que :

- la présence de plusieurs capteurs remplissant la même fonction à un même endroit (capteur de mouvement pour l'éclairage, le système HVAC, le système d'alarme, etc.)
- le chauffage et le refroidissement simultanés d'un espace
- la présence de plusieurs types de commandes pour piloter différents systèmes.

Ces problèmes peuvent notamment être résolus en menant une réflexion sur les flux de données et les installations techniques et systèmes d'information dont ils proviennent pour déterminer quels sont les flux nécessaires ou disponibles, puis en regroupant et en analysant effectivement les données générées. En outre, les données collectées peuvent être utilisées pour créer de nouvelles applications et de nouveaux services.

Regrouper et analyser les données d'un bâtiment peut contribuer à la résolution des problèmes existants. De plus, les données collectées peuvent être utilisées pour créer de nouveaux services.

Les technologies intégrées aux bâtiments ne sont pas les seules à évoluer. De nos jours, de plus en plus d'objets recueillent ainsi des données (personnelles). Les grands acteurs des technologies de l'information et d'Internet tels que Microsoft, Google ou Amazon ont démontré que les données collectées peuvent servir de matière première (reconnaissance de formes, intelligence artificielle, etc.) pour offrir des services innovants.

Les *smart buildings* répondent à ces évolutions. Une meilleure intégration des différentes installations techniques du bâtiment et des systèmes d'information permet assurément d'améliorer l'efficacité énergétique, la durabilité, l'expérience utilisateur, etc. Le regroupement des données offre en effet une meilleure compréhension de ce qui se passe dans le bâtiment et permet ainsi de prendre des mesures ciblées (via l'automatisation, p. ex.) et de mieux adapter celui-ci aux besoins des utilisateurs.

2.5 Domaines d'application des *smart buildings*

Le tableau 1 donne un aperçu non exhaustif des domaines d'application potentiels des *smart buildings* et explique aussi en quoi ils contribuent à rendre le bâtiment plus intelligent et plus centré sur l'utilisateur. Basé sur les recherches de Memoori et Locatee [M4] ⁽¹⁾, ce tableau concerne principalement les immeubles de bureaux. Toutefois, il s'applique aussi en majeure partie à d'autres types de bâtiments.

La figure 4, extraite de la publication de Memoori et Locatee [M4] (en anglais), résume les informations du tableau 1.

⁽¹⁾ <https://locatee.com/en/blog-post/navigating-the-complex-smart-building-landscape/>

Tableau 1 Aperçu non exhaustif des domaines d'application potentiels des *smart buildings* (source : Memoori et Locatee [M4]).

Domaines d'application d'un <i>smart building</i>	Exemples d'application	Description
<p>PERSONNALISER Personnaliser le confort et l'expérience utilisateur</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Confort thermique • Réglage de l'éclairage (degrés de luminosité, p. ex.) • Qualité de l'air • Santé et bien-être • Ressenti par rapport au lieu de travail • Réduction du bruit • Implication des utilisateurs du bâtiment (<i>feedback</i>) • Mobilité des employés et modes de travail 	<p>L'accent est mis sur l'identification de bâtiments ou de sites offrant le meilleur potentiel et sur la satisfaction des besoins des utilisateurs (<i>user centricity</i>), en vue de créer une meilleure expérience client et un climat intérieur plus agréable.</p>
<p>TROUVER Trouver des personnes et des ressources</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Trouver des salles de réunion disponibles • Trouver des lieux de travail disponibles • Trouver des places de parking disponibles • Trouver des collègues • Aider les visiteurs à trouver un lieu • Trouver et géolocaliser des moyens ou des ressources 	
<p>OPTIMISER Travailler de façon orientée 'données' pour optimiser les services et les espaces</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Optimiser les espaces • Analyser l'utilisation des salles de réunion • Affecter les coûts liés à l'occupation • Développer et consolider le parc immobilier et l'aménagement des espaces • Optimiser les services de restauration • Optimiser les services de nettoyage 	
<p>COMMUNIQUER Communiquer avec les différentes catégories d'utilisateurs</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Communiquer avec les collaborateurs • Guider et accompagner vers les principales infrastructures du bâtiment • Communiquer sur les infrastructures et le <i>facility management</i> • Alerter et communiquer en cas d'urgence 	
<p>CONSERVER Préserver les ressources de manière durable</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Production et stockage de l'énergie • Monitoring énergétique et gestion de l'énergie • Gestion de l'éclairage • Gestion de l'eau • Gestion des déchets • Analyse et rapportage des critères environnementaux (critères ESG) 	<p>L'accent est mis sur la gestion de l'énergie, sur l'utilisation et la gestion des ressources ainsi que sur la comparaison des performances des bâtiments ou des sites (analyse comparative).</p>
<p>CONTRÔLER Contrôler les équipements, leur fonctionnement et leur pilotage</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Régulation des installations HVAC • Régulation de l'éclairage • Gestion des commodités (et affectation des coûts) • <i>Facility management</i> et maintenance • Fonctionnement des ascenseurs et escalators • Gestion des ressources • Analyse comparative du parc immobilier (comparaison des bâtiments ou des complexes) • Supervision des modes de travail flexibles • Contrôle du respect des directives, des procédures et des instructions de travail 	
<p>SÉCURISER Assurer la sécurité des personnes et des ressources</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Contrôle d'accès • Gestion des visiteurs • Détection des menaces • Gestion des incidents • Cybersécurité • Sécurité incendie • Localisation des personnes en cas d'urgence • Suivi et sécurisation des ressources 	<p>L'accent est mis sur la sécurité des personnes et des ressources.</p>



Navigating through the wealth of use cases in the Smart Building landscape is not easy. Although technology is evolving rapidly and offers a vast number of Smart Building solutions, there is no one path on how to transform one's organization into a more human-focused building. There is no predefined sequence of measures to be taken, there is not the first step, second step, etc. The only right way is an individual customized approach. The aim is to understand, evaluate and prioritize one's own use cases. This graphic is intended to visualize possible ways of proceeding towards a more human-centric office building.



Fig. 4 Applications possibles des smart buildings (source : Memoori et Locatee [M4] (?)).

(?) <https://locatee.com/en/blog-post/navigating-the-complex-smart-building-landscape/>

3 Études de cas : quel retour sur investissement ?

Avant de décider d'investir dans un *smart building*, le donneur d'ordre souhaite souvent disposer d'une étude de rentabilité claire démontrant qu'il s'agit d'un investissement avantageux.

Néanmoins, évaluer la rentabilité d'indicateurs financiers tels que le retour sur investissement ou le coût total de possession (*total cost of ownership* (TCO)) de la mise en œuvre d'un *smart building* n'est pas toujours évident, car les modèles de rentabilité existants dépendent fortement du contexte.

Dans ce chapitre, nous commençons par examiner quelques éléments à prendre en compte lors de l'évaluation des coûts et des bénéfices de la mise en œuvre de *smart buildings*. Ensuite, nous présentons quelques exemples concrets de rentabilité économique.

3.1 Éléments à considérer

3.1.1 Champ d'application et objectifs

Lors de l'élaboration d'une étude de rentabilité, il importe de fixer dès le départ des objectifs clairs et (si possible) mesurables permettant d'évaluer les bénéfices de l'investissement (voir chapitre 4, p. 29).

Pour les donneurs d'ordre ou maîtres d'ouvrage, les entreprises de construction ou d'autres parties prenantes qui souhaitent se lancer dans un projet de *smart building*, il peut s'avérer intéressant de commencer par un projet dont le champ d'application est restreint (objectif bien défini, déploiement minimal de personnes et de ressources, risques du projet limités, etc.). En agissant de la sorte, ils pourront se familiariser avec les possibilités existantes, acquérir une expérience pratique et obtenir des réponses à des questions telles que :

- comment une application particulière peut-elle créer de la valeur ajoutée pour une organisation ?
- quels sont les points de vigilance ?
- quels défis peuvent se profiler au cours de l'élaboration ?

Travailler à petite échelle permet également de spécifier davantage les objectifs. Une fois les avantages et la viabilité économique démontrés à petite échelle, des actions peuvent être prises afin d'effectuer des mises en œuvre à plus grande échelle ou d'élargir le champ d'application.

3.1.2 Bénéfices directs et indirects

Lors de l'évaluation des avantages d'un *smart building*, on distingue les bénéfices directs des bénéfices indirects. Les bénéfices directs proviennent directement de l'investissement réalisé. Ils ont une incidence immédiate et relativement facile à mesurer. En revanche, les bénéfices indirects sont produits indirectement par l'investissement réalisé. Ils sont plus difficiles à mesurer et se manifestent en général à plus long terme.

Nous énumérons ci-dessous quelques exemples de bénéfices directs :

- réduction des coûts de l'énergie grâce à une utilisation plus rationnelle de celle-ci et à une meilleure adéquation entre le bâtiment et le réseau électrique (pic de consommation moins élevé, maîtrise de la demande en énergie (*demand side management*), p. ex.)
- diminution de l'espace de bureaux nécessaire grâce à une exploitation plus efficace de la surface occupée
- réduction des coûts de maintenance grâce à des opérations d'entretien plus efficaces (la maintenance conditionnelle et prédictive réduit le nombre d'interventions et de défaillances imprévisibles, tandis que la meilleure qualité des informations et les possibilités de support à distance améliorent l'efficacité des

interventions, p. ex.)

- réduction des coûts de consommation d'eau grâce à une utilisation plus rationnelle de celle-ci
- nouvelles sources de revenus générées par de nouveaux modèles d'entreprise (location de places de parking ou d'espaces intérieurs à des tiers, revenus provenant des bornes de recharge des véhicules électriques, etc.).

Nous évoquons ensuite quelques exemples de bénéfices indirects :

- productivité plus élevée des employés et augmentation du bien-être des utilisateurs du bâtiment grâce à un environnement de travail sain et confortable
- productivité plus élevée des employés et meilleure satisfaction des utilisateurs du bâtiment grâce à la diminution des pertes de temps et des frustrations générées par des problèmes relatifs au bâtiment (disponibilité des postes de travail, des salles de réunion, des places de parking et des bornes de recharge, diminution des défauts, p. ex.)
- meilleure image pour le propriétaire ou le locataire grâce à la réduction de l'empreinte carbone du bâtiment
- afflux plus régulier de nouveaux employés et rétention des collaborateurs grâce à un environnement de travail attrayant.

3.1.3 Coûts à long terme pour le maître d'ouvrage

Lors de l'étude de rentabilité d'un projet de construction ou de rénovation, il est impératif pour le maître d'ouvrage de tenir compte aussi bien des coûts à court terme que des coûts à long terme. Même si le modèle de financement joue évidemment un rôle crucial à cet égard, il s'est avéré par le passé que, dans un modèle classique, les coûts à long terme pendant la durée de vie du bâtiment (*operating expenditures* ou dépenses d'exploitation (OPEX)) étaient souvent plus élevés que les dépenses d'investissement initiales (*capital expenditures* (CAPEX)) [P1] ⁽³⁾. Il convient donc d'estimer au mieux non seulement les dépenses d'investissement initiales, mais aussi les dépenses d'exploitation afin de parvenir à une étude de rentabilité réaliste. Lorsqu'on compare différentes offres de prix, il importe aussi d'examiner le coût total (CAPEX et OPEX) sur la durée de vie supposée.

En général, la durée de vie des installations techniques du bâtiment est plus courte que celle des autres éléments (structure, revêtement de façade, menuiserie, etc.). Le choix du système technique (qualité, adaptabilité et possibilité de remplacement, période de garantie, etc.) exerce une grande influence sur le nombre d'interventions de maintenance, de mises à jour et de remplacements ainsi que sur l'ampleur de ces interventions. Ceci nécessite une vigilance particulière non seulement pour le matériel (composants physiques et systèmes), mais aussi pour les logiciels. En effet, la plupart des logiciels évoluent relativement vite, ce qui nécessite des mises à jour régulières. Citons, par exemple, les mises à jour liées à la sécurité ou les ajustements requis à la suite d'un changement de version d'un logiciel sous-jacent tel que le système d'exploitation.

On peut atténuer l'incertitude concernant les coûts à long terme en travaillant avec des contrats de service. Ceux-ci consistent à payer un prestataire externe (sur une base annuelle ou mensuelle, p. ex.) pour assurer (une partie de) la prestation de services et toutes les actions nécessaires à cet effet. Cela présente l'avantage d'en être soi-même déchargé et de pouvoir se consacrer pleinement à ses tâches principales. La mise en place d'un contrat de service procure également une certaine tranquillité d'esprit, car le prestataire de services s'engage à garantir un fonctionnement optimal sur une longue période. Il en récolte par ailleurs les bénéfices lorsque les services dont il a la charge offrent les performances attendues. Cependant, travailler avec des contrats de service ne dispense pas de réfléchir à la phase d'exploitation dès le début du projet de construction ou de rénovation. En effet, les choix opérés pour l'investissement auront toujours une incidence sur les coûts à long terme. Si, au moment de l'investissement, une grande attention est accordée, par exemple, aux aspects de qualité, de durabilité, d'adaptabilité ou de possibilité de remplacement, cette démarche peut avoir un impact positif sur les coûts à long terme.

Si le prestataire externe supporte (au moins en partie) l'investissement initial relatif à l'objet du contrat de service, ce qui fait donc également de lui (au moins en partie) le propriétaire initial de cet investissement, on parle de contrat selon le modèle aaS (*as a service*). En d'autres termes, les utilisateurs reçoivent un service ou une fonctionnalité particulière dont l'infrastructure sous-jacente n'appartient pas au client et n'est pas gérée par lui. Cette méthode s'apparente à un contrat de *leasing*.

⁽³⁾ <https://rucore.org.za/wp-content/uploads/2011/11/Sust-Bldg-Tech-Manual.pdf> – p. 16/292

En ce qui concerne l'infrastructure, le modèle aaS peut être illustré par l'utilisation d'un service *cloud* au lieu d'une infrastructure sur serveur en gestion propre. À l'échelle du bâtiment, des exemples de modèle aaS sont les contrats de type DBFM(O) et EPC ⁽⁴⁾ ⁽⁵⁾. Tous les modèles aaS ont pour point commun que des accords peuvent être conclus avec le fournisseur quant au niveau de service requis. Pour ce faire, on définit généralement des conventions de niveau de service (*service level agreements* (SLA)) dont on peut évaluer la conformité à l'aide d'indicateurs clés de performance (*key performance indicators* (KPI)).

3.1.4 Bénéfices à long terme pour l'entreprise

Le client n'est pas le seul bénéficiaire des avantages procurés par la mise en place de contrats de service (de type aaS ou non). Proposer de tels contrats et fournir, par conséquent, des services pendant la phase d'exploitation du bâtiment peut aussi constituer une opportunité pour les entrepreneurs ainsi que pour les installateurs et les entreprises de maintenance. En effet, ce type de contrat formalise un engagement à long terme entre l'entreprise et son client et procure de multiples avantages :

- en proposant des contrats de service, les entreprises de construction peuvent établir des relations à long terme avec leurs clients, ce qui peut leur être bénéfique pour les futurs projets du client
- les contrats de service constituent une source de revenus stable sur une longue période. Ces rentrées d'argent régulières et prévisibles peuvent contribuer à la santé financière et à la résilience des entreprises
- les techniques commerciales de type vente croisée (*cross selling*) et montée en gamme (*upselling*) permettent aux entreprises de construction, dans le cadre des contrats de service conclus, de vendre des services supplémentaires ou des services proposant une meilleure valeur ajoutée à leurs clients existants
- les contrats de service offrent aux entreprises de construction la possibilité de se différencier de leurs concurrents.

En proposant des contrats de service, les entreprises du secteur peuvent bénéficier de nombreux avantages comme générer une source de revenus stable sur une longue période.

Sur le plan de la maintenance, de la gestion du bâtiment et de la maîtrise de l'énergie, l'offre de contrats de service crée de réelles opportunités pour le secteur. Dans la construction, une forme bien connue de contrat de service est le contrat de maintenance. Cependant, les modèles aaS commencent aussi à faire leur apparition. Citons les contrats *heat as a service* et *light as a service* où le client paie respectivement le chauffage et la lumière fournis par le prestataire de services (en tenant compte de certaines exigences concernant le confort et la sécurité, p. ex.). Il incombe au prestataire de fournir les systèmes et composants nécessaires, mais aussi de les mettre en service, de les gérer et d'assurer leur maintenance pendant la période contractuelle. Il existe encore d'autres modèles aaS tels que les modèles *energy as a service* ou *comfort as a service*.

Le monitoring et les données sont souvent cruciaux dans les études de rentabilité des contrats de service ou des modèles aaS. La collecte (et la visualisation) des données permet non seulement d'avoir une meilleure idée de la consommation réelle d'électricité, d'eau ou de gaz, mais aussi de détecter rapidement les anomalies dans le fonctionnement des installations techniques ou tout comportement anormal des utilisateurs du bâtiment. En effet, ce dernier point peut aussi avoir un impact significatif sur la consommation ou le fonctionnement des installations.

⁽⁴⁾ Le manuel DBFM du gouvernement flamand [V1] définit un contrat DBFM(O) comme suit : 'Un accord DBFM est un accord entre un organisme public et un mandataire privé, en vertu duquel ce dernier s'engage à concevoir (*design*), construire (*build*), financer (*finance*) et entretenir (*maintain*) une infrastructure ou un bâtiment et est rémunéré pour ce faire au moyen d'une indemnité de disponibilité périodique basée sur les performances.' La lettre 'O' signifie *operate* et renvoie à la gestion et à l'exploitation.

⁽⁵⁾ La directive 2012/27/UE [P1] définit un EPC ou contrat de performance énergétique comme suit : 'un accord contractuel entre le bénéficiaire et le fournisseur d'une mesure visant à améliorer l'efficacité énergétique, vérifiée et surveillée pendant toute la durée du contrat, aux termes duquel les investissements (travaux, fournitures ou services) dans cette mesure sont rémunérés en fonction d'un niveau d'amélioration de l'efficacité énergétique qui est contractuellement défini ou d'un autre critère de performance énergétique convenu, tel que des économies financières.'

Dans ce contexte, la mise en place d'accords sur le long terme avec des fabricants ou des fournisseurs de matériaux peut également ouvrir des opportunités. Par exemple, la négociation d'un prix plus compétitif en échange de la mise à disposition des données au fabricant pourrait être une option. En outre, d'autres acteurs (qui ne sont pas nécessairement impliqués dans le projet) sont intéressés par certains types de données et sont prêts à offrir une compensation afin d'en disposer. Des accords clairs sur la propriété et l'utilisation des données sont vitaux pour bâtir des relations durables avec les partenaires et les clients (voir aussi § 5.4, p. 50).

Le [site Internet de cluster Smart Building](#) présente plusieurs exemples concrets de *smart buildings* fonctionnant avec des formes innovantes de contrat. Parmi eux, citons notamment [le projet De Tuilerie à Diest](#) et [le nouveau siège de Bewel à Diepenbeek](#).



A. Projet De Tuilerie à Diest



B. Nouveau siège de Bewel à Diepenbeek

Pour plus d'informations sur le modèle aaS, nous vous renvoyons également au blog d'Embuild Vlaanderen accessible depuis le site Internet <https://www.embuildvlaanderen.be/blogs/as-a-service/> (uniquement en néerlandais).

3.1.5 Utilisation intelligente des données disponibles

Lors d'une étude de rentabilité pour des bâtiments existants, une option souvent judicieuse consiste à utiliser les sources de données du bâtiment et des systèmes en place qui sont déjà disponibles. Cela peut aider à identifier des gains significatifs qui peuvent être obtenus sans nécessiter un investissement trop important (*quick wins*). La plupart des bâtiments sont généralement déjà équipés de systèmes et plateformes logicielles qui génèrent (ou peuvent générer) de grandes quantités de données. Cependant, ces données sont souvent loin d'être exploitées à leur plein potentiel ou ne sont pas accessibles pour d'autres applications, et ce, alors que les informations générées peuvent être intéressantes pour diverses parties.

Si l'utilisation des données (latentes) présentes dans le bâtiment semble constituer une solution logique et facile en théorie, elle s'avère parfois difficile dans la pratique. En effet, ces données ne sont pas toujours faciles à exploiter. D'une part, les aspects techniques tels que l'interopérabilité, l'ouverture et la cybersécurité doivent être pris en compte (voir § 5.1, p. 46, et § 5.2, p. 47). D'autre part, les aspects organisationnels tels que les questions relatives à la propriété des données et à la vie privée jouent aussi un rôle important (voir § 5.4, p. 50).

3.1.6 Investir dans l'avenir

En préparant son plan d'investissement, le donneur d'ordre ou maître d'ouvrage doit se demander si le ou les installations techniques qu'il choisit doivent pouvoir interagir à terme avec d'autres installations. Si tel est le cas, il importe d'en tenir compte au moment d'investir. Ainsi, il peut s'avérer utile de consacrer une partie de

l'investissement à la mise en œuvre d'une infrastructure de base évolutive et extensible (tant du point de vue logiciel que matériel) sur laquelle différents systèmes peuvent être greffés.

Le maître d'ouvrage doit aussi prendre en considération les éventuelles adaptations à venir ou les extensions potentielles des installations techniques elles-mêmes. Dans ce contexte, nous recommandons d'accorder une attention suffisante aux éléments abordés dans le chapitre 5 (p. 46) et d'opter pour des systèmes modulaires adaptables et extensibles. Cette démarche doit permettre de valoriser l'investissement initial dans l'étude de rentabilité, sans ou avec un minimum de frais supplémentaires, qui ne seraient pas encore identifiés au moment de l'investissement (voir aussi le plan par étape au chapitre 4, p. 29).

3.2 Exemples concrets

Outre les bénéfices directs, la mise en œuvre d'un *smart building* s'accompagne souvent de bénéfices indirects (considérables). Il n'est pas toujours facile de quantifier leur valeur ajoutée et donc d'évaluer la rentabilité d'indicateurs financiers concrets chiffrés, tels que le retour sur investissement et le coût total de possession de la mise en œuvre d'un *smart building*.

Dans cette partie, nous présentons quelques exemples concrets, chiffrés et concluants de modèles de rentabilité de *smart buildings*. Ceux-ci proviennent d'un certain nombre de domaines et se focalisent principalement sur les bénéfices directs. Toutefois, les bénéfices directs n'expliquent pas à eux seuls la rentabilité d'un *smart building*. Les exemples abordent autant le point de vue du maître d'ouvrage que les opportunités pour le prestataire de services, un rôle qui peut être assumé par les entreprises de construction et par les entreprises de maintenance.

Ils illustrent quelques cas et études spécifiques qui ont pu générer une valeur ajoutée financière évidente. Ces exemples n'offrent en aucun cas une vue d'ensemble de tous les modèles de rentabilité qui peuvent être réalisés avec un *smart building*. Le tableau 1 du § 2.5 (p. 14) donne un aperçu non exhaustif des domaines d'application possibles des *smart buildings*.

3.2.1 Gestion intelligente de l'énergie

Gérer intelligemment l'énergie permet de réduire les coûts de la consommation énergétique d'un bâtiment. Pour y parvenir, on peut notamment :

- mieux paramétrer les installations grâce aux données de consommation et d'utilisation de l'énergie
- gérer intelligemment les équipements et la capacité de stockage local, par exemple en :
 - utilisant d'avantage les énergies renouvelables produites localement
 - ajustant les consommations pour tenir compte des tarifs dynamiques
 - réduisant le pic de consommation sur le réseau électrique
- inciter l'utilisateur à adapter son comportement en l'informant sur sa consommation et son utilisation de l'énergie.

La gestion intelligente de l'énergie visant à réduire la facture énergétique est facilement applicable aux bâtiments existants. Dans un premier temps, il est nécessaire d'installer des capteurs afin de mesurer la consommation ainsi que divers paramètres complémentaires tels que la température et des paramètres spécifiques à l'installation. Dans ce contexte, on peut utiliser les capteurs déjà présents dans le bâtiment, qui peuvent, par exemple, être connectés à un système de gestion du bâtiment, ou ajouter de nouveaux capteurs (sans fil ou filaires). Les données ainsi recueillies doivent ensuite être transmises, stockées et traduites en informations pertinentes au moyen d'un logiciel. Les résultats peuvent alors être utilisés en vue d'optimiser le fonctionnement des installations techniques (adaptation des programmations horaires, modification des paramètres de la régulation, etc.) ou pour encourager les utilisateurs du bâtiment à adapter leur comportement (en les conscientisant grâce à la visualisation de certaines données, p. ex.).

La plupart du temps, le coût d'investissement total des solutions de gestion de l'énergie dans les bâtiments existants (et certainement dans les grands bâtiments) est relativement faible par rapport aux économies

potentielles sur le montant (élevé) des factures d'énergie. Par conséquent, il n'est pas rare que les temps de retour sur investissement soient de moins d'un an. La page Internet consacrée aux études de cas de l'entreprise espagnole DEXMA ⁽⁶⁾, filiale de la société de technologie et de services Spacewell depuis 2020, donne quelques exemples chiffrés concrets. Plusieurs membres du cluster *Smart Building*, une initiative de Buildwise avec le soutien de C-Tech, proposent également des solutions permettant d'améliorer la gestion de l'énergie dans les bâtiments existants. De plus amples informations au sujet de ces entreprises sont disponibles sur la page 'Nos membres' du site Internet du cluster *Smart Building* ⁽⁷⁾.

Gérer intelligemment l'énergie permet de réduire les coûts de consommation énergétique. On peut y parvenir, par exemple, en paramétrant mieux les installations sur la base des données collectées ou en gérant intelligemment les équipements et la capacité de stockage local.

Aux États-Unis, une campagne à grande échelle (soutenue par le *U.S. Department of Energy*) a été menée entre 2016 et 2020. Dans ce cadre, 6.500 bâtiments ont été équipés de systèmes d'information et de gestion de l'énergie (*energy management and information systems* (EMIS)). Dans ses conclusions sur les résultats de l'étude, le *Lawrence Berkeley National Laboratory* [L1] ⁽⁸⁾ a indiqué, entre autres, que les organisations qui ont choisi d'appliquer un système de gestion de l'énergie à leur parc de bâtiments ont pu réaliser en deux ans des économies d'énergie substantielles (jusqu'à 22 %). Le temps de retour sur investissement moyen pour ces systèmes d'information et de gestion de l'énergie n'était que de deux ans.

Les conclusions sur les résultats d'une étude américaine à grande échelle ont montré que le temps de retour sur investissement moyen de ces systèmes d'information et de gestion de l'énergie n'était que de deux ans.

Des projets de nouveau bâtiment et de rénovation qui incluent la mise en place d'une gestion intelligente de l'énergie constituent aussi des modèles de rentabilité intéressants. Par exemple, lorsque les maîtres d'ouvrage concluent un contrat de performance énergétique (EPC) avec une société de services énergétiques (ESCO). Pour atteindre les objectifs contractuels d'efficacité énergétique, l'ESCO mettra souvent en œuvre une solution de gestion intelligente de l'énergie. Le site Internet de l'Association européenne des sociétés de services énergétiques ⁽⁹⁾ présente quelques exemples de projets d'EPC fructueux.

Outre une réduction des coûts de consommation, une gestion intelligente de l'énergie peut aussi générer des revenus supplémentaires. Ainsi, les utilisateurs d'un compteur électrique communicant peuvent conclure un contrat afin d'obtenir une rémunération pour l'énergie qu'ils produisent localement (au moyen de panneaux photovoltaïques, p. ex.) et qu'ils injectent sur le réseau.

L'équilibrage du réseau électrique à l'aide de systèmes de gestion intelligents constitue une autre source potentielle de revenus. Ces systèmes permettent de gérer intelligemment la production ou la capacité de stockage

⁽⁶⁾ <https://www.dexma.com/resources-library/case-studies/>

⁽⁷⁾ <https://www.smartbuildingsinuse.be/fr/a-propos-du-cluster/nos-membres/>

⁽⁸⁾ Vous pouvez obtenir plus d'informations sur l'étude *Proving the Business Case for Building Analytics* en consultant le site Internet <https://escholarship.org/uc/item/5m66941j>.

⁽⁹⁾ <https://euesco.org/about/success-stories/>

(cogénération, décharge de batteries, p. ex.) et les équipements consommateurs (production électrique d'eau chaude, recharge de véhicules électriques, p. ex.). Ces services sont proposés aux gestionnaires de réseau par un fournisseur de service d'équilibrage (*balancing service provider* (BSP)) qui dispose généralement d'un portefeuille de produits de flexibilité (installations de production d'électricité ou autres) et agit donc en tant qu'agrégateur. Des entreprises telles que la société française Voltalis ⁽¹⁰⁾, qui utilise des technologies intelligentes pour mettre en œuvre des solutions B2C et B2B innovantes, montrent que les modèles d'entreprise qui se basent sur la flexibilité énergétique sont porteurs de valeur ajoutée.



Fig. 5 Dans un réseau axé sur la flexibilité énergétique, les bornes de recharge pour véhicules électriques peuvent en représenter l'un des composants essentiels (photo prise chez VMA à Sint-Martens-Latem).

Une étude quantifiant la valeur de la flexibilité énergétique figure dans le rapport 'A National Roadmap for Grid-Interactive Efficient Buildings' [L1] ⁽¹¹⁾, publié par le *U.S. Department of Energy*. Selon cette étude, les bénéfices cumulés grâce à l'utilisation de ces bâtiments énergétiquement flexibles aux États-Unis pourraient atteindre 100 à 200 milliards de dollars entre 2021 et 2040.

Ces dernières années, de nombreuses entreprises et groupes actifs dans le secteur belge de la construction et de l'installation, se sont positionnés sur le marché de la gestion intelligente de l'énergie. Voici quelques exemples (voir également les études de cas au § 3.3, p. 26) :

- BESIX et Proximus ont investi en 2021 dans i.Leco, qui a ensuite donné naissance à aug-e. La plateforme logicielle déployée par aug-e ambitionne de devenir la passerelle technologique entre les données et l'énergie. Le nom aug-e vient de *augmented energy*
- VMA, filiale de CFE, s'est fortement concentrée ces dernières années sur le développement de VMANAGER, une solution technologique visant à réaliser des économies d'énergie, à gérer les flux d'énergie et à assurer une gestion globale des installations techniques dans les bâtiments. VMANAGER Performance propose des services énergétiques (ou services ESCo)

⁽¹⁰⁾ <https://www.voltalis.com/>

⁽¹¹⁾ <https://gebroadmap.lbl.gov/>

- le groupe Cordeel a ouvert plusieurs filiales et conclu des partenariats au cours des dernières années afin de jouer le rôle de guichet unique pour l'ensemble du processus de construction. Ainsi, la filiale C-energy, créée en 2021, a pour objectif de faciliter la transition énergétique de ses clients vers des sources d'énergie verte et l'électromobilité. L'entreprise répond à tous les besoins des clients en matière de gestion de l'énergie, depuis la production et le stockage de celle-ci jusqu'à son optimisation en passant par le monitoring énergétique. C-energy offre ces services sous la forme de modèles aaS.

Le nombre croissant de groupes belges du secteur qui développent des activités dans le domaine de la gestion intelligente de l'énergie prouve d'autant plus que celui-ci peut apporter une véritable valeur ajoutée.

Ces dernières années, de nombreuses entreprises et groupes actifs dans le secteur belge de la construction et de l'installation se sont positionnés sur le marché de la gestion intelligente de l'énergie.

3.2.2 Maintenance et gestion intelligentes des bâtiments

Les bâtiments intelligents garantissent une maintenance et une gestion plus intelligentes, ce qui peut être bénéfique à plusieurs égards. À titre d'illustration, la maintenance conditionnelle et la maintenance prédictive ou maintenance prévisionnelle (qui peut, p. ex., être basée sur des algorithmes utilisant l'intelligence artificielle) permettent de réduire les coûts. Cela s'explique par le fait, d'une part, que les interventions nécessaires sont moins nombreuses que dans une approche où seule une maintenance systématique (périodique) est en place et, d'autre part, que les interventions tendent à être moins invasives que dans une approche où la maintenance est purement corrective (réparatrice). Les entreprises spécialisées dans la maintenance prédictive ne sont pas seulement en mesure d'offrir des services d'une qualité supérieure à leurs clients (un temps d'arrêt plus court des installations contribue à limiter l'inconfort pour les utilisateurs finaux, p. ex.). Leurs interventions tendent aussi à être plus efficaces et ne les obligent plus à agir comme un pompier qui doit éteindre des incendies à tout bout de champ. L'avantage principal est que ces entreprises peuvent agir comme une sorte de conseiller en prévention qui détecte et règle les problèmes (potentiels) à un stade précoce. Elles peuvent également mieux planifier leurs tâches et ne doivent pas constamment trouver des solutions *ad hoc* à des problèmes imprévus. L'utilisation d'installations techniques intelligentes et connectées permet en outre de contrôler et d'ajuster à distance certains paramètres (valeurs de consigne, p. ex.), ce qui permet parfois d'éviter une intervention sur place. En améliorant la planification et en effectuant certains contrôles et ajustements à distance, on pourra libérer une partie du personnel, ce qui permettra de prendre en charge des projets supplémentaires et d'augmenter le chiffre d'affaires (et la rentabilité) de l'entreprise.

Les interventions sur site seront aussi plus efficaces dans un bâtiment intelligent. Ainsi, sur la base des données du bâtiment et de ses systèmes, la cause sous-jacente d'un problème peut souvent être détectée plus rapidement (et même automatiquement). De plus, les applications dédiées à l'orientation des visiteurs (*wayfinding*) et les systèmes d'accès intelligents peuvent aider le personnel de l'entreprise de maintenance à localiser sans difficulté les éléments du bâtiment ou les parties de l'installation à entretenir. L'accessibilité à des systèmes d'information pertinents (par le biais d'un jumeau numérique, p. ex.) permet en outre d'obtenir, de visualiser (au moyen de la réalité augmentée, p. ex. : voir figure 22, p. 60) et de rapporter des informations (données géométriques, fiches techniques, registres, etc.) rapidement et efficacement.

La maintenance intelligente a également une incidence (positive) directe sur la consommation d'énergie et peut ainsi générer des avantages significatifs. Dans le cadre de l'étude 'Proving the Business Case for Building Analytics' [K1], mentionnée au § 3.2.1 (p. 21), plusieurs systèmes de détection et de diagnostic des défaillances (*fault detection and diagnostics* (FDD)) pour le chauffage, la ventilation et la climatisation ont été étudiés, en plus des systèmes de monitoring énergétique. Les informations issues des données des systèmes FDD ont permis de mettre en œuvre diverses mesures telles que l'ajustement des valeurs de consigne, un meilleur paramétrage des systèmes de gestion, la suppression de la possibilité de chauffer et refroidir simultanément, la réparation des vannes et des capteurs défectueux, etc. Au bout du compte, des économies d'énergie allant jusqu'à 28 % ont

pu être réalisées sur deux ans. En se basant uniquement sur les bénéfices directs produits par l'augmentation de l'efficacité énergétique et non sur les bénéfices indirects, plus difficiles à quantifier, tels que l'augmentation de la productivité des travailleurs grâce à une amélioration du climat intérieur ou une durée de vie plus longue des installations, le temps de retour sur investissement moyen des systèmes FDD n'était que de deux ans.

3.2.3 Gestion intelligente des lieux de travail

Dans son livre blanc 'Investing in the smart workplace pays off' [W1] ⁽¹²⁾, Spacewell se penche sur le modèle de rentabilité des technologies de gestion intelligente des lieux de travail. L'entreprise y distingue deux stratégies pour obtenir un rendement intéressant :

- optimiser l'utilisation de l'espace
- optimiser l'expérience des travailleurs.

D'une part, les deux stratégies s'accompagnent chacune d'un certain nombre de pistes concrètes, étayées par des documents de référence. D'autre part, quelques estimations chiffrées du retour sur investissement illustrent le rendement que chaque stratégie permet d'atteindre. Le document se conclut par quelques directives et formules permettant de calculer les rendements dans un contexte spécifique.

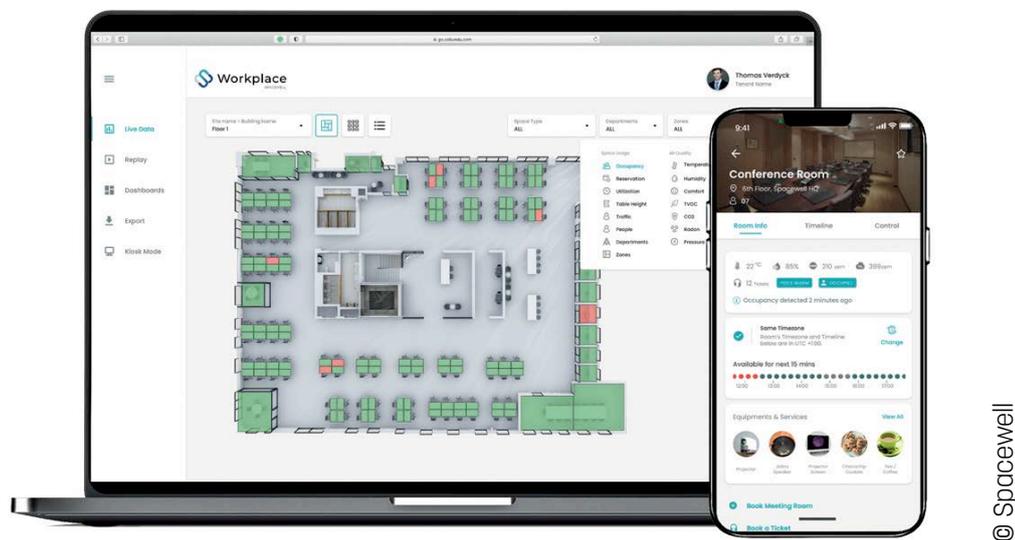


Fig. 6 Une gestion intelligente du lieu de travail peut générer des bénéfices financiers directs.

Il est bien sûr parfaitement possible et même souhaitable de combiner les deux stratégies (optimisation de l'espace et de l'expérience des travailleurs). Toutefois, ce livre blanc analyse les deux dimensions séparément afin de fournir un calcul clair du retour sur investissement.

Plusieurs exemples montrent qu'un modèle d'entreprise basé sur une gestion intelligente du lieu de travail a fait ses preuves. Citons notamment la collaboration entre Spacewell et Axa Belgium qui a été récompensée par le *Verdantix Smart Building Innovation Award 2020* ⁽¹³⁾. Dans le cadre de ce projet, 1.850 capteurs PIR (infrarouge passif) sans fil utilisant la technologie LoRaWAN ⁽¹⁴⁾ ont été installés sous le mobilier de bureaux des bâtiments d'AXA Belgium dans le centre de Bruxelles afin d'effectuer un monitoring détaillé du lieu de travail. Ce monitoring a permis d'atteindre un ratio de six bureaux pour dix travailleurs (au lieu de sept bureaux auparavant) et de réduire ainsi l'occupation de la surface au sol d'environ 6.000 m². En tenant compte d'un coût opérationnel de 350 à 400 euros par m² et par an, les économies peuvent atteindre annuellement 2,1 à

⁽¹²⁾ <https://spacewell.com/fr/ressources/etudes-et-analyses/le-roi-des-investissements-dans-des-lieux-de-travail-intelligents-livre-blanc/>

⁽¹³⁾ Si vous souhaitez plus d'informations à ce sujet, vous pouvez consulter le site Internet <https://spacewell.com/fr/ressources/cas-client/axa-smart-building/>.

⁽¹⁴⁾ De plus amples informations sont disponibles dans la publication 'Connectivité numérique dans les bâtiments' (disponible uniquement en néerlandais sur le site Internet <https://www.clustersmartbuilding.be/fr/publications-et-articles/>).

2,4 millions d'euros. Par contre, cette économie a un prix : l'investissement revient environ à 180.000 euros et l'abonnement annuel pour la connectivité LoRaWAN des capteurs coûte 25.000 euros.

Sur le [site Internet du cluster Smart Building](#), plusieurs exemples concrets de *smart buildings* sont décrits et donnent ainsi un aperçu de différentes applications potentielles. Parmi ceux-ci, citons notamment le [siège social de VMA à Sint-Martens-Latem](#) et [l'immeuble pilote et de démonstration de la plateforme 'Wave' à Lille](#).



A. Siège social de VMA à Sint-Martens-Latem



B. Immeuble pilote et de démonstration de Wave à Lille

3.3 La valeur ajoutée des *smart buildings* pour les entrepreneurs et le secteur de la construction : témoignages

Tout comme illustré dans les encadrés de cette publication, plusieurs applications spécifiques de *smart buildings* (et les modèles de rentabilité sous-jacents) ont été examinées dans le cadre de diverses études de cas (voir le [site Internet du cluster Smart Building](#)).

Vous trouverez ci-après une sélection d'études de cas assorties à chaque fois d'une brève introduction. Les entreprises, installateurs, entreprises de maintenance et intégrateurs y expliquent très concrètement la façon dont les *smart buildings* (ou certains aspects de ceux-ci) créent une valeur ajoutée, que ce soit pour leur propre entreprise, pour leurs partenaires ou pour leurs clients. Chaque description est suivie d'un lien vers l'article complet publié sur le site Internet du cluster *Smart Building*.

3.3.1 D'un installateur à un fournisseur de solutions complètes

La numérisation poursuit sa progression dans chaque secteur, y compris dans la construction. VMA a vite compris que le train de la numérisation était en marche. Forte de son expérience dans d'autres secteurs, elle a développé un concept global intelligent de techniques du bâtiment. L'entreprise ne peut dès lors plus être cataloguée comme un 'simple' installateur : désormais, elle offre également ses propres solutions, qui s'articulent autour d'une consommation d'énergie optimale et d'un système d'entretien intelligent. Une évolution dont les fruits sont récoltés non seulement par les clients de la société, mais également par VMA lorsqu'elle opère en tant qu'entreprise de maintenance.



Vous pouvez consulter l'article complet sur le site Internet suivant : <https://www.clustersmartbuilding.be/case-study/van-installateur-naar-leverancier-van-totaaloplossingen/>.

3.3.2 Valeur ajoutée 2.0 du groupe Vanhout

Le maître d'ouvrage de demain exigera de plus en plus de valeur ajoutée, et ce, tout au long de la durée de vie d'un bâtiment. Cette évolution oblige les entrepreneurs à repenser totalement l'acte de bâtir. Le groupe Vanhout se montre déjà très enthousiaste à l'idée de ce défi. Aux côtés de ComTIS Energy, sa nouvelle filiale, le groupe se lance dans le domaine des ESCO et des fournisseurs de type *energy as a service*. Le nouveau quartier résidentiel De Tuilerie à Diest sera le premier à appliquer ce concept innovant à grande échelle.

L'article complet est disponible sur le [site Internet du cluster Smart Building](#).



3.3.3 Assurer l'avenir de l'entreprise à l'ère du numérique

Les évolutions technologiques se succèdent à un rythme effréné et bouleversent le paysage socioéconomique. Les entreprises qui hésitent à franchir le pas du numérique risquent d'en faire les frais. Même le secteur de la construction, d'ordinaire plutôt conservateur, se voit contraint d'explorer de nouveaux horizons. BESIX, une entreprise fermement convaincue que l'avenir réside dans les *smart buildings*, fait office de pionnière de premier plan à cet égard. Pour relever ce défi, BESIX privilégie des partenariats avec des acteurs extérieurs au secteur. Un choix judicieux ?

Vous pouvez consulter l'article complet sur le [site Internet du cluster Smart Building](#).



3.3.4 Bewel opte pour un modèle d'adjudication innovant

La première pierre du nouveau siège social de Bewel a été posée au printemps 2022. Au travers de son bâtiment, l'entreprise a l'ambition de jouer un rôle de pionnière en matière d'innovation, de circularité et de durabilité. Bien que le maître d'ouvrage ne vise pas le plus haut degré de technologie, le projet mérite assurément son qualificatif de *smart*. L'intelligence du concept réside surtout dans l'aspect novateur du type d'adjudication. Pour la première fois, Van Roey Services applique la formule DBME, un contrat de performance énergétique et de maintenance, à une nouvelle construction. Elle s'efforce ainsi de maîtriser les coûts de l'énergie pour les clients, ce qui constitue un atout majeur en cette période de fluctuation des prix.

L'article complet est disponible sur le [site Internet du cluster Smart Building](#).



3.3.5 Une intégration verticale qui va au-delà de la construction pour le groupe Cordeel

Le paysage énergétique est en pleine mutation. Dans la ville du futur, les réseaux intelligents (*smart grids*) joueront un rôle de premier plan. L'énergie renouvelable sera produite au départ d'un grand nombre de sources et sera échangée de manière flexible entre les utilisateurs, tandis que les éventuels excédents de production seront stockés autant que possible. Afin d'accompagner au mieux les clients dans cette transition, le groupe Cordeel examine actuellement plusieurs solutions innovantes, aussi bien sur son propre site qu'en dehors.



Vous pouvez consulter l'article complet sur le [site Internet du cluster Smart Building](#).

3.3.6 Quand plus de monitoring rime avec davantage d'opportunités

De plus en plus d'entreprises adoptent la devise 'mesurer, c'est savoir'. Cette évolution est au cœur d'une numérisation croissante des bâtiments, qui induit logiquement l'arrivée de nouveaux acteurs sur le marché de la construction tels que les intégrateurs et fournisseurs de plateformes de données. En portant un regard neuf sur le secteur, ces acteurs amorcent une toute nouvelle dynamique. Alors que les parties prenantes traditionnelles de la construction se montrent parfois réticentes au changement, ces nouveaux acteurs ouvrent des voies inédites pour eux-mêmes, mais aussi pour l'ensemble du secteur.



L'article complet est disponible sur le [site Internet du cluster Smart Building](#).

3.3.7 Le nouveau bâtiment de Buildwise : un site de démonstration grandeur nature

Pour être intelligents, les bâtiments et leurs installations techniques tirent profit de nombreuses données. La mise en place de capteurs et le monitoring sont en effet considérés communément comme le fondement des *smart buildings*. Toutefois, l'intelligence d'un bâtiment se construit déjà en amont. Plus on dispose d'informations concrètes relatives à l'utilisation et au comportement du bâtiment dès le processus de conception, mieux on peut organiser et configurer les capteurs, les installations techniques et leur pilotage. Le nouveau bâtiment de Buildwise repose ainsi sur des bases solides qui offrent une perspective d'intelligence supplémentaire et d'efficacité énergétique optimale.



Vous pouvez consulter l'article complet sur le [site Internet du cluster Smart Building](#).

4 Vers un *smart building* : plan par étapes pour rendre un bâtiment plus intelligent

En raison du large éventail de fonctions qu'ils doivent pouvoir remplir aujourd'hui, nos bâtiments, intelligents ou non, deviennent de plus en plus complexes. De même, un projet de *smart building* va bien plus loin que la simple construction d'un bâtiment.

La figure 7 donne un aperçu de la large gamme de fonctions qui peuvent être associées aux *smart buildings* dans différents domaines (voir § 2.5, p. 14). Toutefois, le donneur d'ordre ou maître d'ouvrage commence en général par ne retenir qu'un nombre limité de fonctions pour son projet. Une évaluation approfondie des besoins est donc essentielle lors de l'élaboration d'un projet de *smart building*.



Fig. 7 Fonctions potentielles dans les bâtiments commerciaux intelligents (source : Memoori [M3]) ⁽¹⁵⁾.

⁽¹⁵⁾ <https://memoori.com/portfolio/the-internet-of-things-in-smart-commercial-buildings-2022-to-2027/>.

Après sa construction ou sa rénovation, un bâtiment a encore toute une (nouvelle) vie devant lui. Pendant cette période, il convient d'assurer sa gestion et sa maintenance et il peut arriver qu'on souhaite y intégrer de nouvelles fonctions (ou services) ou modifier partiellement ou totalement sa destination. Il importe donc de veiller à ce que le bâtiment puisse répondre non seulement aux besoins actuels de ses utilisateurs, mais aussi à leurs besoins futurs. Dès lors, une approche rigoureuse tenant compte de cet aspect est nécessaire tout au long du projet de *smart building* pour obtenir un résultat final satisfaisant.

Bien que tous les projets de construction ou de rénovation soient différents, le plan par étape décrit ci-après se veut un guide général pour la mise en œuvre d'un bâtiment plus intelligent. Ce plan comprend huit étapes (expliquées en détail dans la suite de ce chapitre) indispensables à la réalisation d'un projet de *smart building* performant et durable. Même s'il s'adresse avant tout aux donneurs d'ordre ou maîtres d'ouvrage, il contient aussi des informations d'un grand intérêt pour toutes les autres parties prenantes d'un tel projet.

Étape 1 : étude de marché et consultation d'experts préalables (processus itératif)

Avant d'amorcer effectivement le projet, le donneur d'ordre ou maître d'ouvrage doit bien s'informer sur les solutions de *smart buildings* actuellement disponibles et sur les possibilités qu'elles offrent. À cette fin, il peut notamment procéder à une étude de marché, réaliser une recherche documentaire ou faire appel à des experts. Le maître d'ouvrage doit continuer à agir de la sorte pendant toute la durée du projet.



Étape 2 : définition de l'objectif

Bien réfléchir à l'objectif global du projet est essentiel. Pourquoi le bâtiment est-il mis en œuvre et qu'attend-on de lui ? Si l'on souhaite bâtir un *smart building*, il convient de définir précisément ce que l'on entend par là. L'intégration de la technologie et la collecte de données relatives au bâtiment ne peuvent jamais être une fin en elles-mêmes. La méthode à utiliser pour atteindre les objectifs souhaités (CAPEX ou OPEX) doit, elle aussi, être choisie à cette étape.



Étape 3 : cartographie des fonctionnalités souhaitées

Cette étape consiste à décrire ce que le bâtiment doit pouvoir effectuer grâce à ses systèmes et installations spécifiques ainsi que les services qu'il doit pouvoir fournir à ses utilisateurs afin d'atteindre l'objectif fixé. À ce stade, il ne s'agit pas encore de choisir une technologie particulière, mais plutôt d'avoir un aperçu des parcours de l'utilisateur (*user journeys*) et de sélectionner les cas d'usage.



Étape 4 : cartographie des exigences techniques

Il convient d'examiner quelles sont les exigences techniques à satisfaire pour répondre aux fonctionnalités souhaitées. Ces aspects permettent de déterminer avec précision le degré d'intelligence requis du *smart building* et les solutions technologiques que les systèmes et installations doivent être en mesure de fournir à ce jour et à l'avenir. Dans ce contexte, il est tout aussi essentiel de considérer la phase d'exploitation (en particulier la maintenance et la gestion).



Étape 5 : rédaction du cahier des charges

Il est primordial que le cahier des charges décrive les souhaits et les exigences liés au projet de manière neutre, sans mentionner de marque. Compte tenu de l'importance croissante de différents aspects tels que la gestion du bâtiment, l'intégration des systèmes et les flux de données entre ceux-ci, il est de plus en plus courant de prévoir des spécifications séparées à cet effet dans le cahier des charges.



Étape 6 : mise en œuvre des prescriptions du cahier des charges

Le déroulement des travaux doit être suivi de près. Il est vital d'impliquer toutes les parties prenantes au plus tôt afin d'identifier leurs compétences (et d'éviter tout doublon) et de communiquer à toutes les parties ce qui est attendu de chacune d'elles. L'installation et l'intégration des systèmes ne sont pas les seules opérations qui doivent être réalisées avec soin. Un réglage correct a également toute son importance afin d'obtenir des systèmes et des installations performants pendant la phase d'exploitation.



Étape 7 : réception du projet

La réception des travaux constitue l'étape formelle entre la phase d'exécution et la phase d'exploitation. À cette occasion, il est essentiel de transmettre toute information susceptible d'être utile pour l'exploitation du bâtiment. Sur le plan des systèmes et des installations techniques, l'ensemble des clés d'accès matérielles et logicielles sont également transmises lors de cette étape afin de permettre la gestion et la maintenance.



Étape 8 : utilisation du bâtiment et maintien des performances sur sa durée de vie

Un bâtiment n'est pas 'terminé une fois pour toutes' après sa réception. Ce constat se vérifie d'autant plus pour les bâtiments dotés d'une composante technologique importante. Au cours de la première année suivant la mise en service, il importe avant tout de bien adapter le bâtiment à son utilisation réelle et aux besoins effectifs (suivi et ajustement). À plus long terme, il faut élaborer une stratégie claire de gestion et de maintenance.



4.1 Étape 1 : étude de marché et consultation d'experts préalables (processus itératif)

'Un bon départ, c'est déjà la moitié du travail' et 'un maître d'ouvrage averti en vaut deux'. En d'autres termes, avant d'entamer le projet, le donneur d'ordre ou maître d'ouvrage doit bien s'informer sur les solutions de smart buildings actuellement disponibles et sur les possibilités qu'elles offrent. Dans ce contexte, procéder à une étude de marché préliminaire peut se révéler utile. Celle-ci permettra en effet d'apporter un début de réponse à des questions telles que :

- dans quels domaines un *smart building* peut-il offrir une valeur ajoutée ?
- quelles sont les solutions (sans entrer dans les détails) et quels sont les acteurs du marché ?
- selon les fournisseurs, quels sont les avantages et les inconvénients des solutions disponibles ?
- quels sont les outils existants (cadres de référence, labels, etc.) pour évaluer l'intelligence, la durabilité du bâtiment ou d'autres paramètres ? (voir chapitre 6, p. 54)
- de quels outils existants (cadres de référence, labels, etc.) peut-on s'inspirer pour trouver différentes manières d'augmenter les performances du bâtiment ? (voir chapitre 6, p. 54)

Cette étude de marché éclairera le donneur d'ordre ou maître d'ouvrage sur ces différents points et lui fera prendre conscience du fait qu'il doit bien réfléchir à ce qu'il attend d'un bâtiment intelligent. Dans les étapes suivantes, nous verrons que la détermination des besoins joue un rôle primordial dans la manière de définir le concept de *smart building*.

Le début du projet n'est pas le seul moment pour s'informer sur les solutions existantes. Il s'agit d'un processus itératif auquel il convient également de prêter attention pendant les étapes ultérieures.

L'étude de marché peut s'effectuer de plusieurs manières. Nous recommandons vivement de combiner différentes techniques pour obtenir une analyse probante du marché. Un contact étroit avec le marché est aussi autorisé, voire conseillé, à condition que les règles d'adjudication soient respectées.

Nous détaillons ci-après deux techniques intéressantes qui permettent de réaliser une étude de marché :

- **recherche documentaire.** Elle consiste principalement à chercher :
 - des informations issues d'études et de rapports élaborés précédemment par des organismes indépendants tels que des institutions de recherche (centres de recherche et d'innovation à l'instar de Buildwise, VITO, Verdantix ou Memoori, universités et hautes écoles, etc.), des organisations sectorielles ou des réseaux d'entreprises thématiques (p. ex. Ecobuild à Bruxelles pour la construction et la rénovation durables, Flux50 en Flandre pour l'énergie intelligente, le cluster TWEED en Wallonie pour l'énergie durable ou encore la *Smart Buildings Alliance* à l'échelle internationale)
 - des informations provenant de projets de recherche et de dissémination des connaissances ([cluster Smart Building](#), [Smart Built4EU](#), p. ex.)
 - des informations issues de revues spécialisées, de magazines scientifiques, etc.
 - des informations diffusées par les fournisseurs de solutions sur des sites Internet, dans des livres blancs et au moyen de vidéos
 - des informations issues de brevets.

Nous recommandons au lecteur de ne pas limiter ses recherches à des sources rédigées dans sa langue maternelle. En consultant des informations dans d'autres langues (en anglais, p. ex.), il aura en effet une vue plus large sur le marché (local et international)

- **étude de terrain** fondée sur la consultation de différents types d'experts :
 - concertation avec des contacts de son propre réseau (au sein et en dehors de l'organisation) afin d'obtenir un meilleur aperçu des besoins essentiels et des solutions existantes
 - visites chez les fournisseurs et distributeurs de solutions
 - participation à des foires commerciales et à des conférences
 - accompagnement particulier par des experts (neutres) qui ont une bonne connaissance du marché.
 Il est vivement recommandé de s'entourer de personnes neutres disposant d'une expertise en la matière, surtout pour des projets complexes ou de grande ampleur. À cet égard, la désignation d'un consultant externe pour guider le donneur d'ordre ou maître d'ouvrage et l'aider à cartographier les possibilités peut s'avérer utile. En travaillant de la sorte, le donneur d'ordre ou maître d'ouvrage aura une bonne vision de la gamme des possibilités. Il pourra séparer le bon grain de l'ivraie sans se perdre dans la multitude d'informations disponibles. Cette tâche peut être assurée par le bureau d'études si ce dernier dispose en interne de l'expertise nécessaire. On peut également désigner une autre partie pour accomplir cette mission.

Le début du projet n'est pas le seul moment pour s'informer sur les solutions existantes. Il s'agit d'un processus itératif auquel il convient également de prêter attention pendant les étapes ultérieures. Plus on avance dans le projet, plus les besoins se clarifient, ce qui permet de restreindre la recherche d'informations, de l'approfondir et de mieux l'aligner sur les solutions envisagées pour le projet.

4.2 Étape 2 : définition de l'objectif

Avant de mettre au point les détails du projet, il importe de réfléchir à son objectif général :

- pourquoi construisons-nous ce bâtiment et pourquoi veut-on en faire un *smart building* ?
- qu'est-ce qui fait qu'un bâtiment est 'intelligent' pour les différentes parties prenantes ?
- quelle expérience du bâtiment voulons-nous offrir aux utilisateurs ?
- lors de la réalisation de l'ouvrage, quel degré d'optimisation souhaitons-nous atteindre en matière de durabilité, d'efficacité énergétique, de confort, d'expérience, etc. ?
- vise-t-on l'obtention d'un certain label pour le bâtiment ?

Ces exemples ne forment qu'un mince échantillon des questions auxquelles il faut répondre pour cibler et aligner les objectifs (voir figure 8). Sur cette base, il est possible de définir une orientation qui guidera l'élaboration du projet. Dans le cadre d'une rénovation, une analyse générale de la situation existante du bâtiment peut également être intégrée à cet exercice.

L'intégration des technologies et la collecte de données ne peuvent jamais être une fin en elles-mêmes. Après tout, il ne s'agit que de moyens permettant de contribuer à répondre aux besoins sur le plan de l'efficacité énergétique, du *facility management* (gestion des services de support), de l'expérience utilisateur, etc. Il est

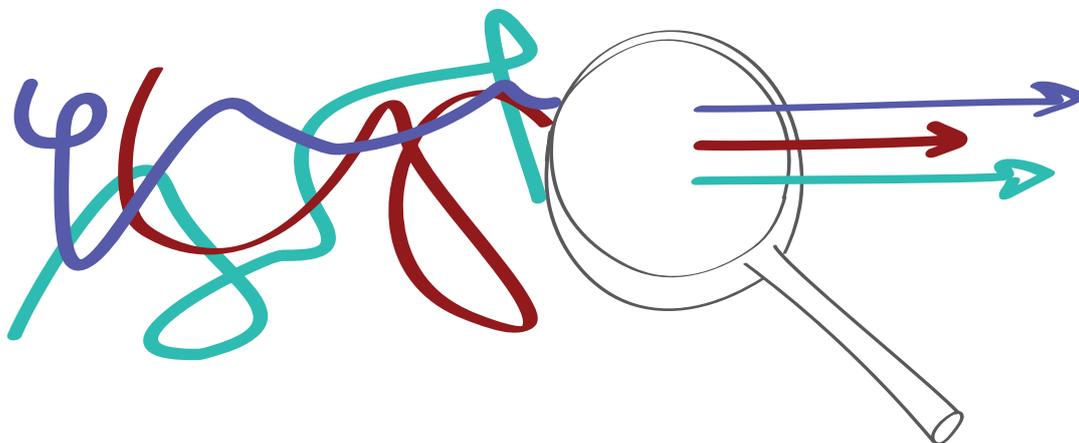


Fig. 8 La définition d'objectifs de projet clairs peut aider à transformer des idées abstraites en orientations qui peuvent guider l'élaboration du projet.

préférable que le donneur d'ordre ou maître d'ouvrage se fasse à l'avance une idée du degré d'intelligence et des solutions technologiques souhaités pour le bâtiment. À ce stade, un bon sens des réalités est essentiel. Il est crucial de fixer des priorités claires pour utiliser au mieux le budget disponible.

Qu'est-ce qui fait qu'un bâtiment est 'intelligent' pour les différentes parties prenantes ? Cette question est incontournable ! En effet, l'intégration des technologies ne peut pas être une fin en elle-même et doit contribuer à répondre aux besoins.

En outre, il importe d'avoir déjà une vue sur la manière dont on souhaite atteindre les objectifs :

- souhaitons-nous acheter nous-mêmes le maximum d'équipements nécessaires (installations, systèmes, etc.) ou avons-nous l'intention de les intégrer dans un contrat *as a service* (éclairage, chauffage, services aux occupants, etc.) ?
- si nous achetons nous-mêmes les équipements, souhaitons-nous aussi les gérer pendant toute la durée de vie du bâtiment ou allons-nous externaliser ces tâches ?

Ces choix ont une incidence significative sur la structure financière du projet. L'accent est-il mis sur les dépenses d'investissement (CAPEX) ou une part importante est-elle prévue sous la forme de coûts récurrents pour un produit ou un service pendant sa durée d'utilisation (OPEX) ? Ce choix prend tout son sens pour la gestion et la maintenance du bâtiment et de ses systèmes et installations. Le choix de la stratégie aura une incidence à plus long terme sur les fonctionnalités souhaitées et les exigences techniques (voir § 4.3, p. 35, et § 4.4, p. 37).

La pratique a montré que les choix opérés dépendent fortement du type de maître d'ouvrage : les priorités d'un maître d'ouvrage qui construit en vue d'une location ou pour son usage personnel diffèrent souvent de celles d'un maître d'ouvrage résolu à vendre le bâtiment.

Si le donneur d'ordre ou maître d'ouvrage connaît déjà les futurs utilisateurs du bâtiment, il est recommandé, voire indispensable, de consulter ces derniers au moment où il définit l'objectif général du projet. Ainsi, on peut déjà prendre leurs besoins et leurs souhaits en considération dès la phase de conception afin d'éviter que la philosophie du bâtiment final ne s'en écarte trop. En outre, cette méthode de travail encourage le soutien et l'implication des futurs utilisateurs, ce qui les amènera par la suite à envisager les éventuels changements et innovations de manière positive.

Nous recommandons au donneur d'ordre ou maître d'ouvrage de consulter les futurs utilisateurs du bâtiment au moment où il définit l'objectif général du projet de construction ou de rénovation.

L'intervention d'un consultant neutre qui guide le maître d'ouvrage est également indiquée dans ce cas, surtout pour des projets complexes ou de grande ampleur. En effet, grâce à son expertise dans le domaine, le consultant est en mesure de poser d'emblée les bonnes questions. Le processus gagne en efficacité et le bâtiment final pourra d'autant mieux répondre aux objectifs et aux besoins identifiés sans dépasser le budget disponible. Ce consultant doit évidemment disposer des compétences nécessaires pour aider le client à définir une vision globale du projet et à identifier ses besoins (comment le bâtiment sera-t-il utilisé et quels

services doit-il pouvoir offrir ?). La définition des exigences techniques en fonction des besoins ainsi définis (et donc des fonctionnalités souhaitées) se fait à un stade ultérieur.

4.3 Étape 3 : cartographie des fonctionnalités souhaitées

Alors que la définition de l'objectif a pour but principal de créer une vision ou une philosophie globale pour le bâtiment et pour un certain nombre de critères tels que la durabilité, l'efficacité énergétique, le confort ou l'expérience, la cartographie des fonctionnalités souhaitées va, quant à elle, un peu plus loin. En effet, on décrit, à ce stade, de manière précise les services que le bâtiment doit offrir à ses utilisateurs sans entrer dans les détails d'exécution. L'objectif de cette étape n'étant pas de déterminer quelle solution sera utilisée en fin de compte, cela laisse davantage de place aux solutions innovantes.

La première étape de ce processus consiste à identifier les besoins spécifiques des différents types d'utilisateurs du bâtiment (voir figure 9). Dans ce contexte, la définition de différentes catégories d'utilisateurs (*user personae*) peut aider à décrire les parcours de l'utilisateur (*user journeys*), c'est-à-dire la manière dont les utilisateurs types utilisent le bâtiment, ainsi qu'à identifier leurs besoins en la matière.

L'étape suivante consiste logiquement à décrire les services que le bâtiment (et les systèmes et installations dont il est équipé) doit fournir aux différents utilisateurs pour atteindre son objectif (et répondre ainsi aux besoins des utilisateurs types identifiés). Nous recommandons d'utiliser des descriptions neutres sur le plan technologique. En effet, il ne s'agit pas de choisir une technologie, mais de définir des cas d'usage. Le meilleur moyen pour y parvenir est de consulter les différentes catégories d'utilisateurs.

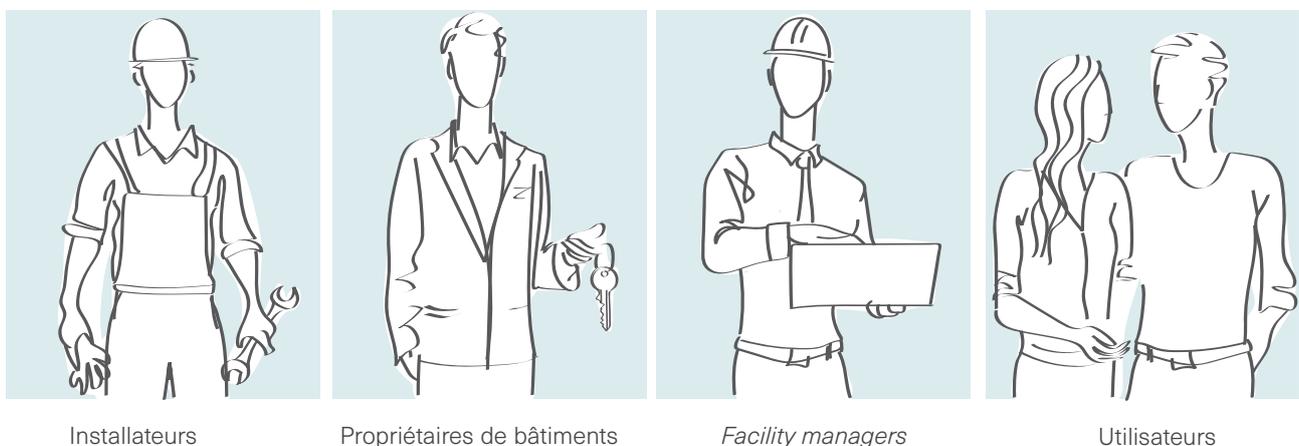


Fig. 9 Présentation de quelques utilisateurs types (*user personae*) (basée sur la publication néerlandaise 115 de l'ISSO [11]) ⁽¹⁶⁾.

Dans un premier temps, la description des services que le bâtiment (et les systèmes et installations dont il est équipé) doit fournir aux différents utilisateurs doit être neutre sur le plan technologique.

⁽¹⁶⁾ <https://isso.nl/publicatie/isso-publicatie-115-ontwerpeisen-gebouwbeheersystemen/2018?query=115>

Un aperçu non exhaustif des (types de) domaines d'application possibles des *smart buildings* est repris au § 2.5 (p. 14). Il existe aussi un certain nombre de cadres de référence et de labels 'basés sur la fonctionnalité', tels que le *smart readiness indicator* (SRI – indicateur de potentiel d'intelligence) ⁽¹⁷⁾, BREEAM ⁽¹⁸⁾ et WELL ⁽¹⁹⁾, qui peuvent aider à identifier les cas d'usage souhaités, même si l'on ne cherche pas à obtenir un certain score. En effet, ces cadres de référence et ces labels incluent un grand nombre d'exigences fonctionnelles. Pour de plus amples informations en la matière, on consultera le chapitre 6 (p. 54).

La publication néerlandaise 115 de l'ISSO 'Ontwerpeisen gebouwbeheersystemen' [I1] fournit un outil permettant d'identifier les exigences de conception d'un système de gestion des bâtiments. Cet outil repose sur une répartition des fonctionnalités potentielles d'un système de gestion des bâtiments que l'on peut trouver à la figure 10.

La norme NBN EN 15221-4 [B2], qui traite spécifiquement du *facility management*, décrit une série de services qu'il peut être intéressant de prendre en considération lors de la cartographie des fonctionnalités souhaitées. Elle aborde un certain nombre de produits standard de gestion des services de support (*standardised facility products*), dont des services d'utilité publique (*utilities*), de nettoyage (*cleaning*) et d'accueil (*hospitality*) ainsi que des services informatiques (ICT).

En outre, on peut définir de nombreuses autres fonctionnalités souhaitées, par exemple en ce qui concerne la manière dont les utilisateurs perçoivent le bâtiment. En effet, le thème de l'expérience utilisateur a fortement gagné en importance ces dernières années.

Il importe de maintenir un équilibre entre les souhaits identifiés et le budget. La structure financière effective deviendra de plus en plus claire au fur et à mesure de l'avancement du projet (d'ailleurs, cette méthode s'applique aussi à la cartographie des exigences techniques, voir § 4.4, p. 37).

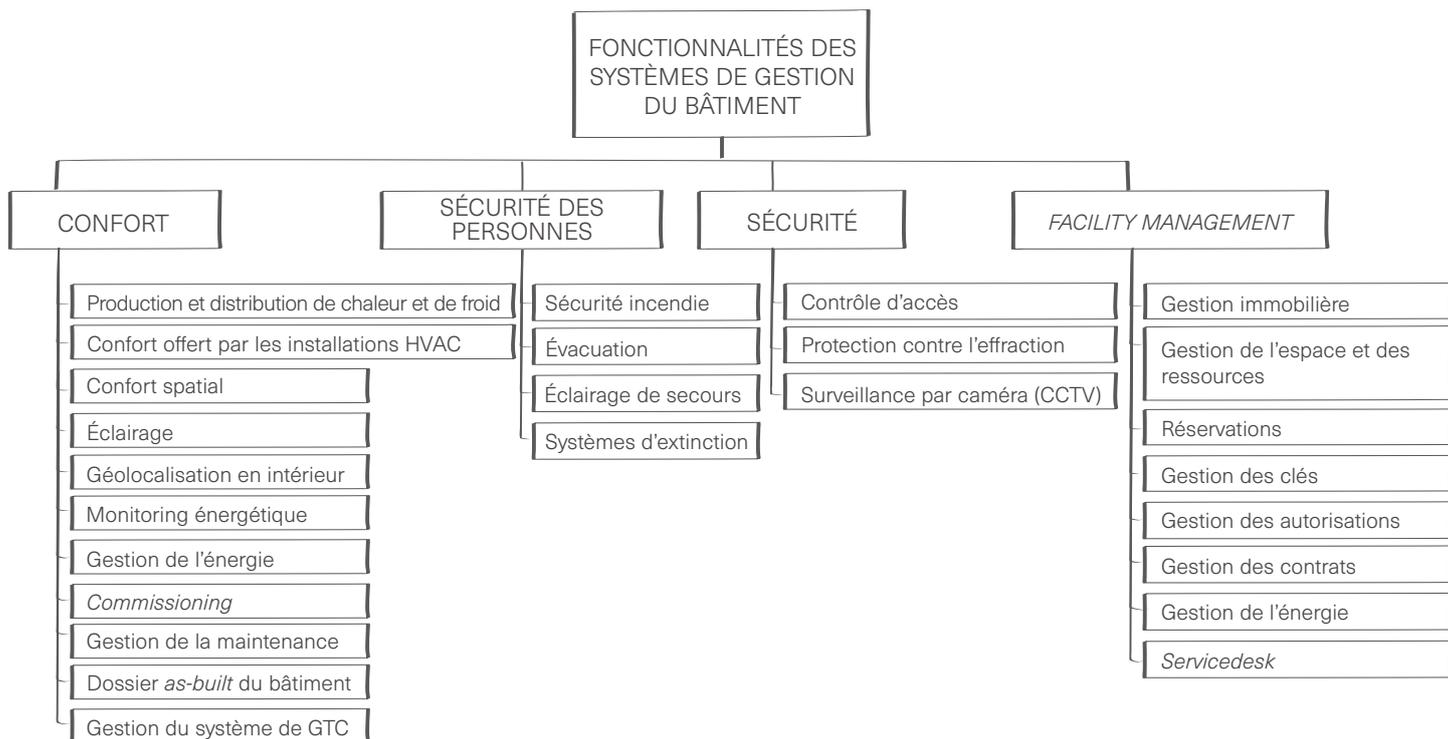


Fig. 10 Aperçu des fonctionnalités potentielles des systèmes de gestion des bâtiments, repris (et clarifié, si nécessaire) de la publication 115 de l'ISSO et basé sur les contributions de Kerdèl Business Development (source : publication ISSO 115) [I1] ⁽²⁰⁾.

⁽¹⁷⁾ https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/smart-readiness-indicator_fr?etran=fr

⁽¹⁸⁾ <https://bregroup.com/products/breem/>

⁽¹⁹⁾ <https://www.wellcertified.com/>

⁽²⁰⁾ <https://isso.nl/publicatie/isso-publicatie-115-ontwerpeisen-gebouwbeheersystemen/2018?query=115>

Afin d'établir des priorités parmi toutes les exigences, le donneur d'ordre ou maître d'ouvrage peut recourir à la méthode MoSCoW. Cette technique l'oblige à classer les fonctionnalités souhaitées selon leur importance :

- M (*must have*) : la fonctionnalité souhaitée doit être opérationnelle à la réception pour que le projet soit considéré comme réussi
- S (*should have*) : la fonctionnalité souhaitée est importante, mais pas nécessaire pour que le projet soit considéré comme réussi
- C (*could have*) : la fonctionnalité souhaitée est utile, mais ne devrait être incluse dans le projet que si les ressources nécessaires (temps, argent) sont encore disponibles
- W (*won't have*) : la fonctionnalité souhaitée n'est pas assez prioritaire pour être incluse dans le projet actuel (mais elle pourrait éventuellement l'être dans un futur projet).

Il importe de maintenir un équilibre entre les souhaits identifiés et le budget disponible. La méthode MoSCoW permet de classer les exigences selon leur importance et d'établir ainsi des priorités.

La liste des fonctionnalités souhaitées, classées selon la méthode MoSCoW, doit être mise en regard du budget. Ensuite, il faut prendre un certain nombre de décisions :

- parmi les fonctionnalités souhaitées, quelles sont celles qui doivent être entièrement mises en œuvre avant la fin du projet ? Il convient de vérifier si toutes les priorités M (*must have*) peuvent être intégrées dans le budget disponible et si ce dernier permet encore d'inclure des priorités S (*should have*), voire des priorités C (*could have*)
- quelles fonctionnalités souhaitées ne doivent pas être mises en œuvre dans le cadre de ce projet, mais doivent néanmoins être prises en compte pour cartographier les exigences techniques ? Formuler une réponse claire à cette question permettra aux éléments qui ne sont pas encore fonctionnellement mis en œuvre à ce jour de l'être plus facilement à l'avenir
- quelles fonctionnalités souhaitées sortent totalement des objectifs visés (*out of scope*) ?

4.4 Étape 4 : cartographie des exigences techniques

Il convient de déterminer quelles exigences techniques s'imposent en vue de satisfaire aux fonctionnalités souhaitées qui ont été retenues, et ce, sans perdre de vue certaines conditions préalables essentielles telles que la performance énergétique, la sécurité et la protection de la vie privée. Il ne s'agit pas seulement de définir des spécifications techniques pour des installations ou des composants individuels, mais aussi de décrire l'architecture des systèmes globaux. Ces aspects permettront de déterminer le degré d'intelligence exact des équipements et des installations techniques du bâtiment et les possibilités technologiques que ces systèmes doivent être en mesure d'offrir aujourd'hui et demain.

Pour créer une infrastructure de base durable dans le temps à l'échelle du bâtiment et à laquelle des applications *smart building* peuvent par la suite être greffées, il est conseillé d'établir trois couches de base différentes et indépendantes :

- une couche 'équipements connectés'
- une couche 'infrastructure de communication'
- une couche 'applications et services'.

Cette méthode forme aussi l'un des principes de base proposés par le groupe français *Smart Buildings Alliance* ⁽²¹⁾ pour préparer les bâtiments tertiaires à intégrer des technologies intelligentes (voir figure 11, p. 38).

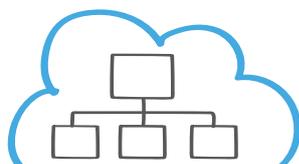
⁽²¹⁾ <https://www.smartbuildingsalliance.org/>

LES TROIS COUCHES DU BÂTIMENT CONNECTÉ ET COMMUNICANT



Couche 'applications/services'

Où sont stockées et traitées les données du bâtiment pour rendre des services aux usagers (occupant ou exploitant).



Couche 'infrastructure de communication'

Couche réseau du bâtiment où circulent les données sur un support radio et/ou filaire au standard Ethernet-IP (*Internet Protocol*), qui rend accessibles les équipements à la couche services et réciproquement.



Couche 'équipements connectés'

Qu'il s'agisse de capteurs, d'actionneurs, de contrôleurs, d'objets connectés... ceux-ci doivent pouvoir communiquer avec la couche supérieure, celle du réseau Ethernet-IP (*Internet Protocol*) du bâtiment.

Fig. 11 Une infrastructure *smart building* composée de trois couches indépendantes constitue l'un des principes de base décrits dans le document de référence *Ready2Services*, publié par le groupe français *Smart Buildings Alliance* [S2] (22).

La priorisation des fonctionnalités souhaitées révélera s'il est nécessaire ou non de mettre en place un système d'exploitation du bâtiment (*building operating system* (BOS)). Cette plateforme globale est particulièrement utile lorsqu'une connexion entre les différents systèmes du bâtiment (gestion du bâtiment, installations techniques, systèmes d'information FMIS ou IWMS, etc.) doit être établie à l'échelle du bâtiment et lorsque les données des différents systèmes doivent être regroupées et doivent pouvoir être utilisées pour offrir des services supplémentaires.

Il existe différents degrés d'intelligence des solutions de *smart building* et de collecte de données issues du bâtiment, de ses systèmes et de son utilisation. Selon Memoori [M1], on dénombre trois niveaux distincts d'utilisation des données du bâtiments et de ses systèmes (voir figure 12, p. 39) :

- utilisation des données pour améliorer l'efficacité opérationnelle (gestion de l'énergie, sécurité des personnes et prévention, p. ex.)
- utilisation des données pour optimiser les services fournis (analyse de l'occupation du bâtiment, optimisation de l'espace, intégration à des systèmes de réponse à la demande (*demand-response*) et au *smart grid*, p. ex.)
- utilisation des données pour promouvoir l'innovation et se démarquer (bien-être des employés, intégration aux *smart cities*, p. ex.).

Il ressort de la figure 12 (p. 39) que l'évolution vers les *smart buildings* accroît continuellement le nombre de liens entre les différents services de l'organisation ou avec des organisations externes responsables du bon fonctionnement du bâtiment et de ses systèmes et installations. Cela concerne en particulier les services informatiques et le *facility management*. Par conséquent, il est indispensable d'impliquer les services internes ou les organisations externes concernés lors de la définition des exigences techniques du projet de construction ou de rénovation et, si nécessaire, d'aligner leurs idées. En outre, nous recommandons de réunir toutes les parties prenantes à un stade du projet aussi précoce que possible afin de réfléchir au degré d'intégration souhaité entre les différents systèmes de gestion.

(22) <https://www.smartbuildingsalliance.org/project/cadre-de-referenc-r2sconnect>

MATURITÉ DES SOLUTIONS DE SMART BUILDING

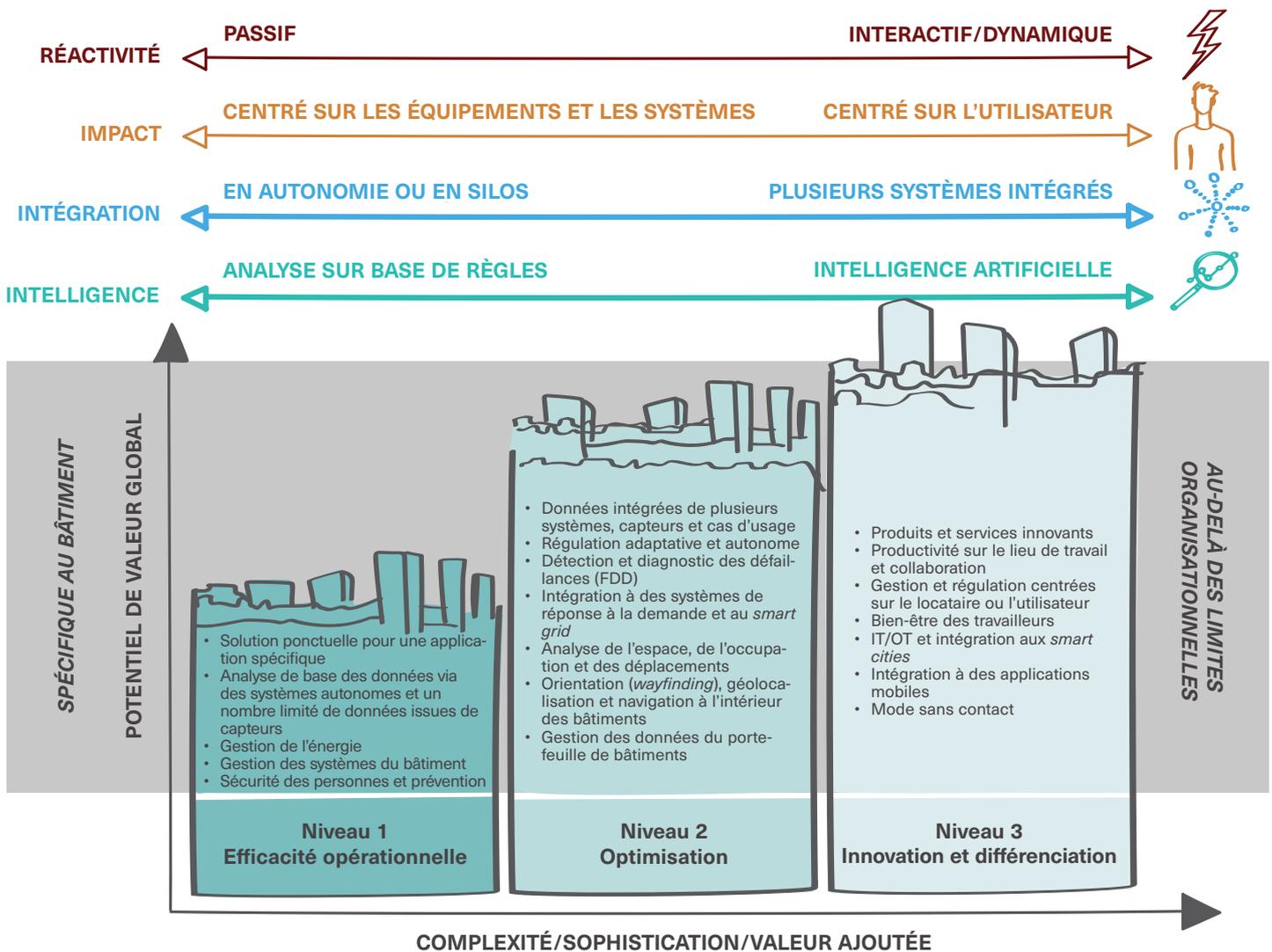


Fig. 12 Les trois niveaux d'intelligence d'un *smart building* et de l'utilisation des données issues d'un bâtiment et de ses systèmes selon Memoori [M1] ⁽²³⁾.

Dans le cadre d'un projet de *smart building*, il est essentiel d'impliquer les responsables de l'IT et du *facility management* dans la définition des exigences techniques.

Comme indiqué ci-avant, il importe de fournir une infrastructure de base qui répond non seulement aux besoins actuels des utilisateurs, mais qui peut aussi s'adapter aux éventuels besoins futurs. De plus, il convient d'envisager la gestion et la maintenance des systèmes sur toute la durée de vie du bâtiment, et ce, dès la conception. L'interopérabilité, la compatibilité ainsi que l'ouverture des systèmes et de leurs composants ont une incidence significative sur leur durabilité dans le temps (voir § 5.1, p. 46). Ces éléments doivent donc être suffisamment pris en considération au moment de définir les exigences techniques.

⁽²³⁾ <https://memoori.com/portfolio/future-proofing-smart-commercial-buildings/>

Le référentiel *Ready2Services*, élaboré par le groupe français *Smart Buildings Alliance* [S2], identifie six thèmes pour lesquels on peut définir des exigences afin de réaliser un bâtiment doté d'une infrastructure numérique pérenne (voir figure 13). Ces thèmes peuvent servir d'inspiration en vue de répertorier les exigences techniques pour l'infrastructure numérique du bâtiment.

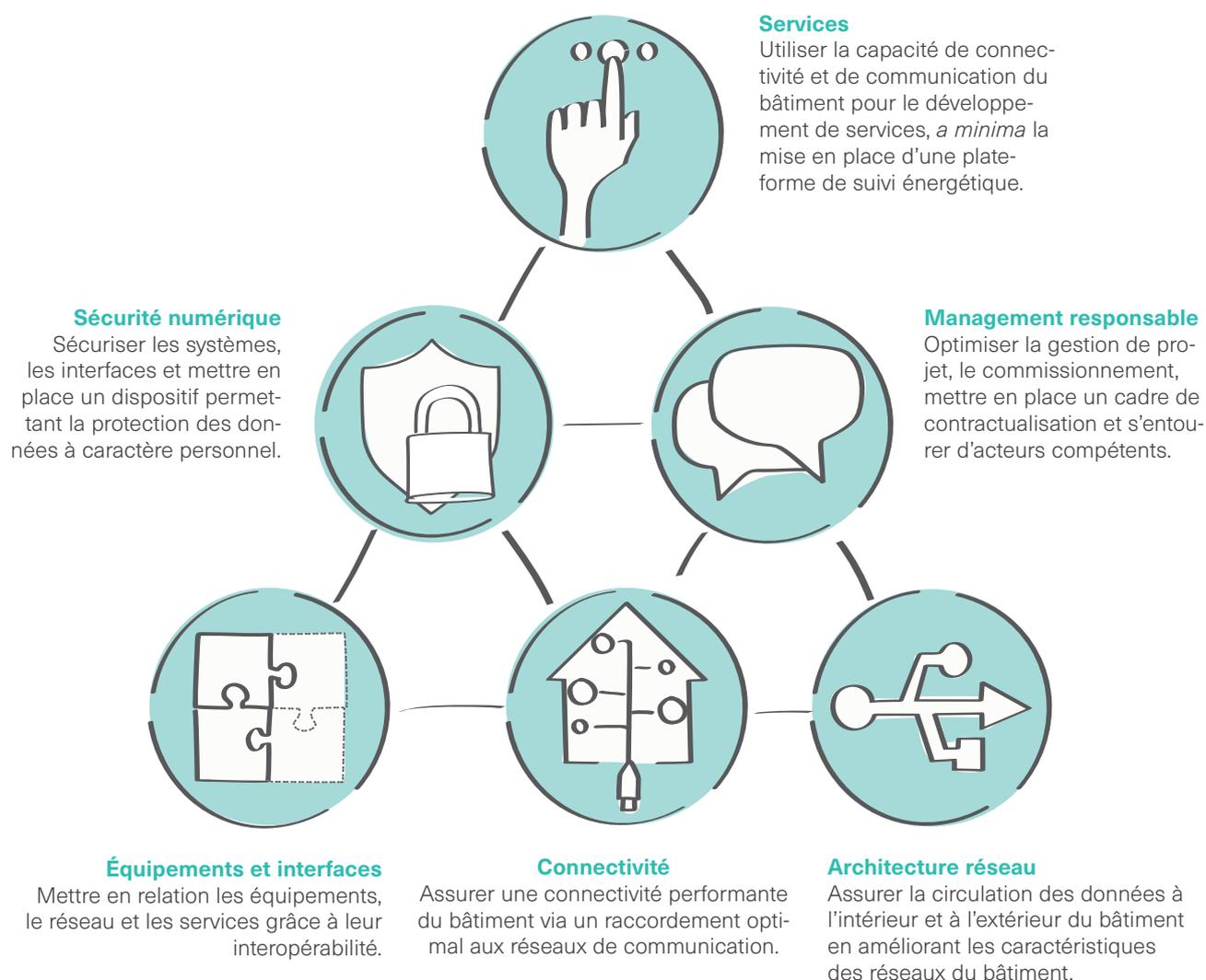


Fig. 13 Aperçu des six thèmes pour lesquels on définit des exigences afin de réaliser un bâtiment doté d'une infrastructure numérique pérenne selon *Ready2Services*, le référentiel élaboré par le groupe français *Smart Buildings Alliance* [S2] ⁽²⁴⁾.

4.5 Étape 5 : rédaction du cahier des charges

Dès que le maître d'ouvrage a une idée claire des fonctionnalités souhaitées et des exigences techniques à intégrer dans son bâtiment, il dispose de tout le nécessaire pour rédiger le cahier des charges et lancer l'appel d'offres. Il importe que les exigences du maître d'ouvrage soient décrites de manière neutre, sans mentionner de marque, pour éviter tout *a priori* sur l'exécution du projet. Le défi consiste à élaborer un cahier des charges offrant, d'une part, une description suffisamment précise et détaillée de la mission et, d'autre part, une certaine liberté pour proposer des solutions innovantes. Les descriptions qualitatives et fonctionnelles permettent, dans une large mesure, de proposer des solutions innovantes, tandis que les descriptions techniques très détaillées des composants restreignent plutôt cette liberté. Un des moyens permettant d'encourager

⁽²⁴⁾ <https://www.smartbuildingsalliance.org/project/cadre-de-reference-r2sconnect>

la création de telles solutions consiste à laisser au soumissionnaire la possibilité de proposer des variantes équivalentes ou supérieures à celles décrites dans le cahier des charges.

Compte tenu de l'importance croissante d'aspects tels que la gestion du bâtiment, l'intégration des systèmes et des flux de données entre ces systèmes, il est de plus en plus courant de prévoir à ce sujet un lot distinct dans le cahier des charges. Cela permet de délimiter plus clairement les responsabilités qui y sont liées que lorsque ce poste est réparti entre plusieurs lots. En définissant clairement les limites de l'entreprise dans le cahier des charges on pourra, en général, gagner en efficacité lors de la phase d'exécution (voir § 4.6, p. 42).

Par ailleurs, le cahier des charges doit indiquer clairement que le système ne doit pas seulement être installé et intégré, mais que des dispositions doivent aussi être prises pour son réglage, sa mise en service et, idéalement, son suivi à terme (dans le cadre d'un processus de *commissioning*, p. ex., voir § 5.5, p. 51). Il importe également de considérer l'exploitation à venir et la maintenance du bâtiment ainsi que de ses systèmes et installations. Compte tenu du fait que les coûts opérationnels (énergie, gestion et maintenance, licences, etc.) peuvent être élevés pendant la durée de vie du bâtiment, nous recommandons de tenir compte de l'impact potentiel de certaines décisions sur la phase d'exploitation dès la rédaction du cahier des charges. Le donneur d'ordre ou maître d'ouvrage doit choisir en connaissance de cause d'inclure ou non dans l'appel d'offre la maintenance et la gestion du bâtiment pendant la phase d'exploitation. La conclusion de contrats de maintenance (voir § 3.1.3, p. 18) constitue l'un des moyens d'atténuer les incertitudes liées aux coûts opérationnels.

Compte tenu de l'importance croissante d'aspects tels que la gestion du bâtiment, l'intégration des systèmes et des flux de données entre ces systèmes, il est de plus en plus courant de prévoir à ce sujet un lot distinct dans le cahier des charges.

Les étapes précédentes nous ont déjà permis d'épingler divers éléments qui doivent être pris en considération lors de l'élaboration du projet et définis dans le cahier des charges. Parmi les autres éléments qui doivent absolument être abordés lors de la rédaction du cahier des charges, on compte notamment :

- la définition de l'objectif et des fonctionnalités associées
- la description claire de l'architecture des systèmes du *smart building* (choix de travailler ou non selon le modèle des trois couches de base distinctes, p. ex. (voir figure 11, p. 38))
- la définition claire du matériel (exigences) et des logiciels nécessaires (stockage des données, visualisation, analyse des tendances, gestion des alarmes, etc.)
- les exigences d'interopérabilité, de compatibilité et d'ouverture des systèmes et de leurs composants
- les informations sur l'organisation des relations entre les systèmes :
 - documentation des interfaces sous la forme d'une liste reprenant tous les types de relations avec les options correspondantes (liste *input/output* avec le type, le nom et la description de la donnée, API, etc.)
 - conventions sur les modalités de transfert des données et d'échange d'informations (formats d'échange de données tels que CSV, JSON, etc.)
 - bonne coordination avec les autres lots ou partenaires en ce qui concerne la répartition des tâches (qui s'occupe de quel câblage, p. ex.).
- la sécurité des personnes et des infrastructures (y compris la cybersécurité, voir § 5.2, p. 47)
- la programmation, le paramétrage et la maintenance :
 - que faut-il prévoir en matière de programmation ?
 - qui est responsable du paramétrage et de la mise en service ?
 - quels tests fonctionnels faut-il effectuer ?
 - quels seront la durée et le type de contrat de maintenance, les accords de niveau de service (SLA), etc. ?

L'équipe chargée de rédiger le cahier des charges joue donc un rôle de premier plan. Les prescripteurs des cahiers des charges doivent être bien au fait des tendances intéressantes qui se dessinent sur le marché et ne doivent en aucun cas se limiter à des technologies plus anciennes qu'ils connaissent probablement bien, mais qui pourraient déjà être obsolètes.

4.6 Étape 6 : mise en œuvre des prescriptions du cahier des charges

Lors de la mise en œuvre des prescriptions du cahier des charges (c'est-à-dire la mise en pratique des prévisions théoriques), il est essentiel de suivre de près le déroulement des travaux. Toutes les parties prenantes doivent être impliquées dans le processus le plus tôt possible afin d'identifier clairement les compétences dont elles (ne) disposent (pas) et de leur communiquer précisément ce qui est attendu de chacune d'elles. Par conséquent, il est crucial de bien définir les limites d'entreprise.

Dans ce contexte, il importe de prévoir un nombre suffisant de moments de concertation pour permettre à toutes les parties de travailler de concert. En procédant de la sorte, les acteurs du projet ont non seulement une vision claire de la planification et de la séquence des travaux à effectuer, mais ils peuvent aussi clarifier d'entrée de jeu les responsabilités de chacun. Lors de ces moments de concertation, toutes les parties prenantes peuvent également discuter ensemble des options possibles et des décisions clés. De cette manière, les choix sont transparents pour tous dès le moment où ils sont opérés, et chacun a la possibilité d'indiquer les répercussions que certains choix peuvent avoir plus tard dans le projet (en particulier pour les travaux qu'il effectuera plus tard dans le projet ou qu'il effectue déjà). Bien que cela semble évident, il arrive encore trop souvent aujourd'hui que certains choix soient opérés implicitement par une seule partie et que celle-ci n'en informe pas les autres parties prenantes, alors que ces dernières en seront affectées à un stade ultérieur du projet. Expliciter les décisions et en clarifier les implications permet d'éviter de nombreux problèmes.

Le rôle de coordinateur – qui conserve une vue d'ensemble sur les systèmes à intégrer ainsi que sur la manière dont cette intégration doit se dérouler – doit être explicitement attribué à une des parties dès le début du projet.

En particulier dans les projets où il existe un certain degré d'interaction entre les différents systèmes à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment, il est primordial de désigner une partie qui assumera le rôle de coordinateur. Ce dernier conserve une vue d'ensemble qui va au-delà de chaque système individuel. Il considère les éventuels systèmes qu'il propose toujours comme faisant partie d'un tout. La désignation d'un intégrateur de systèmes, qui garde dès le départ une vue d'ensemble sur tous les systèmes à intégrer et sur les liens qui les unissent, est très précieuse à cet égard.

Instaurer une coordination et une communication efficaces dès le début du projet permet clairement d'éviter de nombreux problèmes. En outre, nous conseillons de suivre les recommandations énumérées ci-après en vue de faciliter l'exécution des travaux et d'obtenir un résultat final de qualité :

- contrôler les plans d'exécution
- vérifier les fiches techniques
- veiller à l'emplacement correct des composants et vérifier que les travaux ont été effectués comme prévu (est-ce que les bons composants ont été positionnés au bon endroit, p. ex.)
- accorder une attention particulière au paramétrage, au réglage et à la mise en service des installations et des systèmes
- veiller à la description, à la planification et à l'exécution de tests fonctionnels.

4.7 Étape 7 : réception du projet

Outre le suivi et les contrôles continus (plutôt informels) effectués depuis la mise en œuvre des systèmes et des installations jusqu'à leur mise en service, le contrôle lors de la réception effective des travaux représente également un moment important. Il s'agit de l'étape formelle entre l'exécution des travaux et la phase d'exploitation. Si le projet n'inclut aucun contrat de maintenance et de gestion, les responsabilités seront transférées à ce stade. Ainsi, au moment de la réception, il importe que tous les partenaires impliqués jusqu'à cette étape du projet fournissent au maître d'ouvrage l'ensemble des informations pouvant être utiles pour la phase d'exploitation du bâtiment. Outre les plans *as-built*, les fiches techniques et les descriptions fonctionnelles, il peut s'agir, par exemple, de manuels spécifiques à l'utilisateur. À ce stade, le maître d'ouvrage doit aussi recevoir les clés (matérielles et logicielles) des systèmes et des installations afin d'être en mesure de procéder à leur gestion et à leur maintenance.

Au moment de la réception, il importe que tous les partenaires fournissent au maître d'ouvrage l'ensemble des informations pouvant être utiles pour la phase d'exploitation du bâtiment.

On s'assurera d'obtenir en priorité les informations suivantes concernant les logiciels :

- documentation sur la fonctionnalité du logiciel
- identifiants et mots de passe pour l'administrateur
- fichiers de configuration et de sauvegarde (*back-up*) du logiciel mis en œuvre
- manuel relatif au projet
- informations concernant la gestion des mises à jour des logiciels et des logiciels embarqués (*firmware*).

Il va de soi qu'une vérification du dossier *as-built* doit être effectuée afin de s'assurer que la documentation mise à disposition correspond bien au projet réalisé.

L'exécution de tests fonctionnels doit également faire partie de la réception du projet. Des procédures de test précises et détaillées doivent permettre d'évaluer le fonctionnement de manière relativement objective. Ces tests permettent de mettre en pratique les cas d'usage, énoncés dans le cahier des charges pour la description qualitative, et de vérifier que les travaux réalisés sont conformes à ce qui a été défini au préalable.

4.8 Étape 8 : utilisation du bâtiment et maintien des performances sur sa durée de vie

Un bâtiment n'est pas 'terminé une fois pour toutes' au moment de sa réception. Ce constat se vérifie d'autant plus pour les bâtiments dotés de nombreux équipements technologiques. Les installations et les systèmes doivent bien sûr fonctionner correctement lors de la réception, mais il est probable que leur paramétrage nécessite des ajustements après la mise en service afin de s'adapter parfaitement à l'utilisation réelle du bâtiment. Pour que le bâtiment fonctionne de manière optimale dès sa mise en service et tout au long de sa durée de vie, il importe donc de contrôler son bon fonctionnement et le bon usage qu'en font ses utilisateurs.

La première année suivant la mise en service est cruciale pour ajuster le bâtiment en fonction de son utilisation réelle et des besoins concrets des parties prenantes, mais aussi pour permettre à ces dernières de maîtriser les systèmes présents dans le bâtiment. En tout état de cause, le donneur d'ordre ou maître d'ouvrage doit prévoir un budget pour la maintenance après la réception (*commissioning*, suivi, paramétrage, information et formation des utilisateurs).

À plus long terme, il est indispensable d'établir une stratégie claire en ce qui concerne la maintenance et la gestion du bâtiment. Même si l'absence d'une telle stratégie n'entrave pas la réception d'un projet à proprement parler, il est toutefois recommandé de prendre cet aspect en considération lors des phases de définition de l'objectif du projet et de rédaction du cahier des charges.

Au moment de conclure un contrat de maintenance et de gestion avec un tiers, il est impératif de s'accorder clairement sur les tâches et services inclus dans ce contrat, et ce, tant pour les éléments matériels que pour les logiciels. Outre le fonctionnement sans faille des systèmes, le contrat peut inclure, par exemple, la fourniture de mises à jour des systèmes, la gestion des licences nécessaires, la mise à disposition d'une assistance dans l'utilisation quotidienne des systèmes, etc.

Afin de garantir et de suivre la qualité du service offert, des accords de niveau de service (SLA) peuvent être établis en concertation avec le fournisseur. Un accord de niveau de service décrit le champ d'application, le niveau de service souhaité ainsi que la méthode de mesure et de suivi des performances. Le suivi du respect des SLA peut être effectué au moyen d'indicateurs clés de performance ou KPI (*key performance indicators*). Par exemple, on peut convenir que le climat intérieur doit répondre à certaines exigences en matière de température, d'humidité et de qualité de l'air, et que le prestataire de services assure la gestion et la maintenance de tous les systèmes qui y contribuent. Une autre option consiste à prendre en charge la majeure partie de la gestion et de la maintenance et à faire appel à un partenaire externe uniquement pour les systèmes spécifiques. Dans ce cas, le partenaire devra, par exemple, résoudre dans un délai convenu les problèmes techniques qui surviennent.

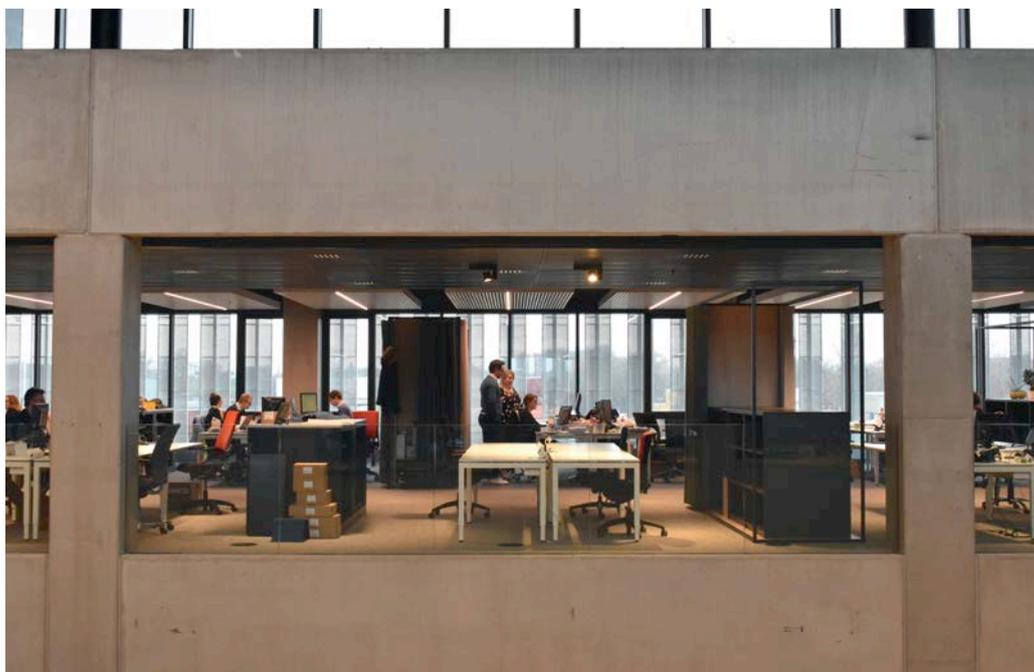


Fig. 14 On accorde souvent trop peu d'importance au maintien des performances et du bon fonctionnement du bâtiment et de ses systèmes et installations pendant la phase d'exploitation. L'application de systèmes *smart building* peut contribuer à rendre ce maintien des performances plus facile.

Remarques

Le plan par étape décrit dans cet Innovation Paper a été établi en vue de pouvoir être appliqué tant aux projets de nouvelle construction qu'aux projets de rénovation profonde. Toutefois, sa portée ne se limite pas à ces seules situations. Un maître d'ouvrage qui souhaite simplement faire ses premiers pas vers un projet de bâtiment intelligent grâce à quelques interventions restreintes peut s'inspirer des principes de base repris dans ce plan par étape. En effet, la définition d'objectifs clairs et de priorités est également essentielle dans ce cas. En outre, il est primordial que les choix effectués aujourd'hui tiennent suffisamment compte de la durée de vie du bâtiment et de la possibilité de renforcer à l'avenir les investissements actuels par d'éventuelles modifications ou extensions.

Le 'Guide pratique Smart Buildings' (mars 2022), sur lequel la présente publication se base, a été publié pratiquement au même moment que le guide de l'organisation Memoori pour démarrer des projets de *smart buildings*. Ce guide, appelé *Developers Smart Building Project Canvas* (et disponible uniquement en anglais) s'articule autour des sept étapes suivantes :

- objectifs clés du projet et proposition de valeur (*key project goals & value proposition*)
- premières actions (*initial actions*)
- collaborations et ressources (*partnerships & resources*)
- coûts et risques (*costs & risks*)
- gestion et réception (*management & delivery*)
- pérennisation (*future-proofing*)
- indicateurs clés de performance (*key performance indicators (KPI)*).

La comparaison des plans par étape des deux publications montre qu'il existe des points communs évidents, mais aussi quelques éléments distincts propres à chaque plan. Ils peuvent donc être considérés comme complémentaires.

La publication *Developers Smart Building Project Canvas* de Memoori peut être consultée sur le site Internet https://memoori.com/wp-content/uploads/2022/01/The_Developers_Smart_Building_Project_Canvas.pdf.

Le site Internet de PIANOo, le centre d'expertise néerlandais en matière de marchés publics, contient également de nombreuses informations intéressantes pour se lancer dans l'innovation. Ces informations s'appliquent entre autres, mais pas exclusivement, à l'innovation dans le domaine des *smart buildings*.

Le site Internet de PIANOo peut être consulté en cliquant sur le lien suivant : <https://www.pianoo.nl/nl/themas/innovatie>.

5 Points d'attention pour les *smart buildings*

Lorsqu'on se lance dans un projet de *smart building*, il convient de tenir compte de plusieurs points d'attention. Nous examinons ceux-ci dans le présent chapitre afin de permettre aux différents acteurs d'opérer des choix conscients et éclairés.

5.1 Interopérabilité, compatibilité et ouverture

Le potentiel d'un *smart building* est étroitement lié aux possibilités d'interaction entre les différents systèmes à l'intérieur du bâtiment, d'une part, et avec les systèmes externes (réseaux d'énergie, p. ex.), d'autre part. L'interaction entre les différents composants de ces systèmes joue aussi un rôle important dans l'obtention de la fonctionnalité souhaitée.

Les concepts d'interopérabilité, de compatibilité et d'ouverture sont fréquemment associés à ce contexte. Bien qu'ils soient souvent mentionnés ensemble, ces termes ne sont pas synonymes. Du point de vue technologique, on peut les définir comme suit :

- l'interopérabilité est la capacité des systèmes à interagir par l'échange d'informations
- la compatibilité est la capacité des composants à interagir au sein d'un système
- l'ouverture est la mesure dans laquelle les informations relatives au fonctionnement, à la fonctionnalité et à la configuration d'une technologie sont disponibles, accessibles et utilisables.

Compte tenu de l'importance considérable des concepts d'interopérabilité, de compatibilité et d'ouverture dans le contexte des *smart buildings*, le [cluster Smart Building](#) a élaboré un document distinct à ce sujet. Il est disponible sur le site Internet www.clustersmartbuilding.be/fr/publications-et-articles/, sous le titre 'Interopérabilité dans les *smart buildings*'.

Le [site Internet du cluster Smart Building](#) reprend plusieurs exemples concrets de *smart buildings* dans lesquels les concepts d'interopérabilité, de compatibilité et d'ouverture sont abordés. Parmi eux, citons notamment le [complexe de bureaux Botanic Tower Brussels](#) et [l'immeuble pilote de démonstration de la plateforme Wave à Lille](#).



A. Complexe de bureaux Botanic Tower Brussels



B. Immeuble pilote de démonstration de Wave à Lille

5.2 Cybersécurité

La sécurité informatique ou cybersécurité est essentielle pour les systèmes numériques, en particulier ceux qui ont un accès à Internet. Outre la gestion correcte des systèmes et des réseaux ainsi que l'utilisation de technologies telles que le cryptage des données et la double authentification, les politiques et les processus organisationnels au sein de l'entreprise et le comportement des utilisateurs sont également primordiaux pour garantir la sécurité des systèmes informatiques. En effet, pour accéder à des systèmes ou à des informations sensibles, les pirates informatiques recherchent toujours les faiblesses. Il peut s'agir, par exemple, d'un système mal configuré (système protégé simplement par un mot de passe par défaut, système d'exploitation non sécurisé, etc.) ou d'un utilisateur piégé par un e-mail d'hameçonnage.

Les incidents liés à la cybersécurité peuvent avoir un impact sur le bon fonctionnement d'éléments clés du bâtiment tels que le chauffage, l'électricité, le contrôle d'accès, etc. Par ailleurs, des informations sensibles et des données personnelles peuvent se retrouver entre de mauvaises mains. Un tel incident peut mettre en péril les processus primaires d'une organisation et avoir ainsi de graves conséquences.

Les installations techniques de bâtiments font généralement appel à la fois à la technologie opérationnelle (OT) et à la technologie de l'information (IT). Dans un *smart building*, les différents systèmes IT et OT sont connectés les uns aux autres jusqu'à un certain niveau et disposent souvent d'un accès à Internet. L'intégration de ces différents types de systèmes deviendra plus complexe à mesure que le nombre de systèmes augmentera. En outre, certains systèmes s'avèrent déjà eux-mêmes relativement complexes. Pensons, par exemple, aux installations techniques du bâtiment et aux systèmes IoT (Internet des objets) qui utilisent un nombre substantiellement plus élevé de composants connectés (capteurs, p. ex.) que les systèmes informatiques traditionnels. Ces aspects peuvent rendre la gestion de la sécurité plus complexe (déploiement de mises à jour et de patches de sécurité) (voir figure 15).

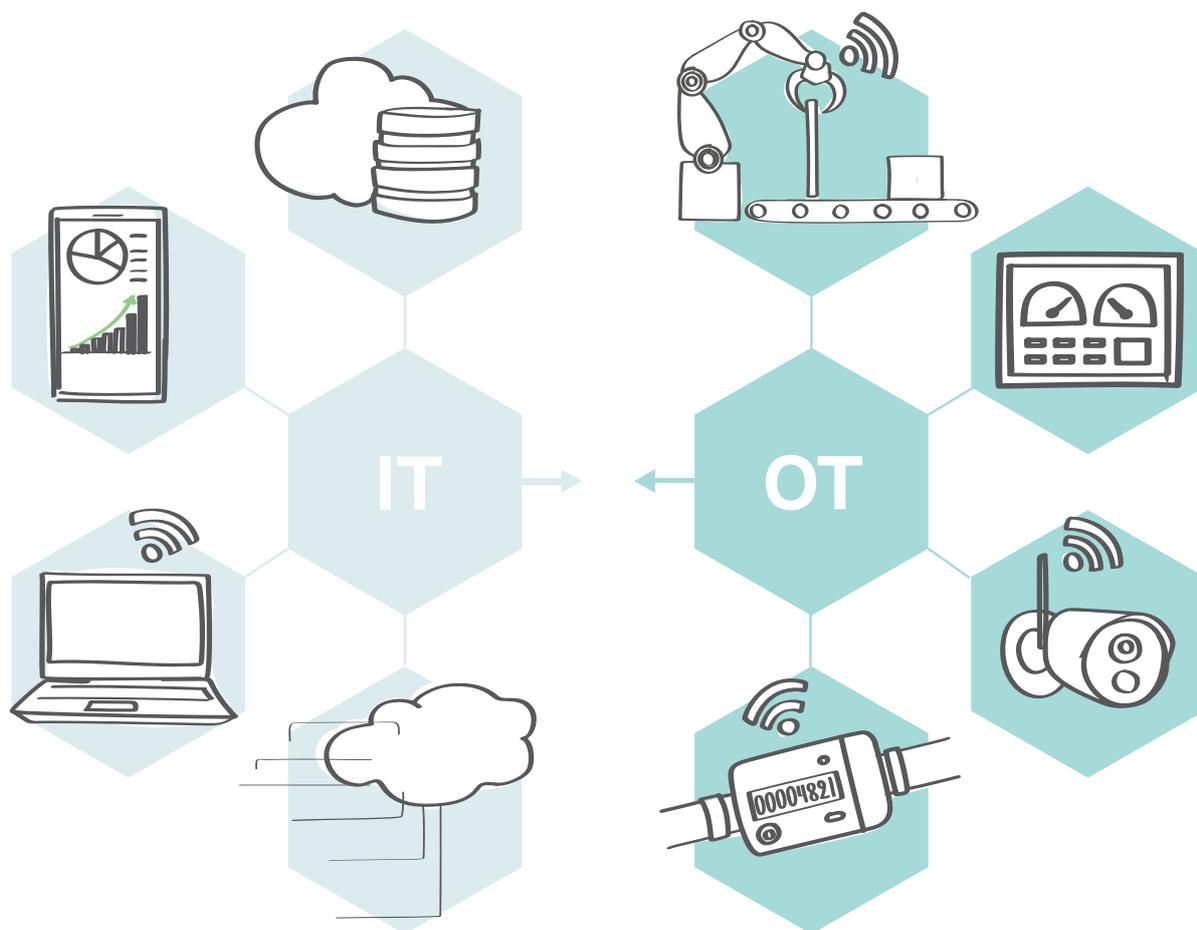


Fig. 15 La cybersécurité est un point d'attention majeur lors de l'intégration des systèmes IT et OT (source : adapté de Shutterstock).

Outre la complexité technique de la gestion de la sécurité, ses aspects organisationnels doivent également être pris en compte. En effet, l'exécution d'un projet de construction implique plusieurs parties qui interviennent à différents moments tout au long du processus de construction et de la phase d'exploitation (parties chargées de la maintenance, gestionnaires IT, p. ex.). La collaboration entre ces parties et leur entente en matière de cybersécurité peuvent également s'avérer difficiles.

Travailler avec une organisation spécialisée dans la cybersécurité permet de maîtriser la complexité technique et organisationnelle. Si l'on fait appel à une telle organisation, il est recommandé d'entamer la collaboration au plus tôt dans le processus de mise en œuvre.

Afin de garantir la qualité en matière de sécurité informatique, il est également possible d'opter pour un audit de cybersécurité. Ce dernier permet d'examiner de plus près les différents aspects de la cybersécurité et de mettre en évidence d'éventuels points faibles tels que :

- les locaux techniques auxquels on peut accéder physiquement sans difficulté (via les badges des utilisateurs du bâtiment, p. ex.)
- les systèmes techniques auxquels on peut accéder virtuellement sans difficulté (via le réseau des utilisateurs du bâtiment, p. ex.)
- une mauvaise gestion des utilisateurs et des mots de passe (données de connexion partagées, p. ex.)
- une gestion inadéquate des sauvegardes (*back-ups*) : pas de possibilité de récupération après un incident, p. ex.
- ...

Pour de plus amples informations sur le thème de la cybersécurité, on consultera le site Internet du Centre pour la cybersécurité Belgique (CCB) ⁽²⁵⁾, qui propose un guide et plusieurs webinaires. Pour obtenir une assistance en cas d'incident, on contactera la *Computer Emergency Response Team* (CERT) ⁽²⁶⁾, le service opérationnel du CCB.

5.3 Fiabilité

Afin de garantir une expérience utilisateur optimale au sein d'un *smart building*, il importe que le bâtiment fonctionne comme il se doit. Par conséquent, il est souhaitable que certaines fonctionnalités du bâtiment telles que le chauffage ou l'éclairage aient une fiabilité maximale et que l'impact des éventuels problèmes sur les utilisateurs du bâtiment soit limité autant que possible.

Plusieurs aspects peuvent affecter le fonctionnement optimal d'un *smart building*. Certains d'entre eux sont relativement simples à contrôler, comme le positionnement des capteurs. D'autres sont en revanche plus difficiles à gérer, comme les événements inattendus (coupures d'électricité ou pannes techniques, p. ex.). Bien que difficiles à prévoir, ces derniers aspects peuvent néanmoins être maîtrisés, dans une certaine mesure, non seulement grâce à la fiabilité des composants individuels, mais aussi grâce à la fiabilité des systèmes eux-mêmes et des réseaux de communication numérique entre ces systèmes.

Lorsqu'il s'agit d'évaluer la fiabilité (des composants) d'un réseau de communication numérique, on parle couramment de qualité de service (QoS). Plusieurs facteurs déterminent si un réseau peut fournir les services prévus. La fiabilité et le temps de réponse sont ainsi des éléments clés qui influencent la qualité. Dans ce cadre, les paramètres techniques tels que le temps de latence (*latency*) et le débit (*throughput*) jouent un rôle non négligeable. Dans certains cas (réseaux critiques en matière de sécurité, p. ex.), il importe d'avoir une qualité de service minimale garantie. Dans d'autres cas, aucun service minimum n'est garanti et l'on parle alors de service du meilleur effort (*best effort*).

Afin d'obtenir une qualité de service minimale garantie au sein d'un réseau de communication numérique, l'une des solutions repose sur la redondance dans la conception du système. Elle consiste à ajouter délibérément des composants ou des systèmes supplémentaires qui garantissent le maintien de toutes les

⁽²⁵⁾ <https://ccb.belgium.be/fr>

⁽²⁶⁾ <https://cert.be/fr>

fonctionnalités prédéfinies en cas de défaillance d'un composant ou d'un (sous-)système particulier. Investir dans une connexion redondante peut s'avérer utile, en particulier pour la connexion Internet, puisque plusieurs systèmes en dépendent. Ces mesures sont explicitement abordées, entre autres, dans le référentiel *Ready2Services* (R2S) [S2] et dans *WiredScore* ⁽²⁷⁾. Bien entendu, la fiabilité est également très importante pour les systèmes eux-mêmes, raison pour laquelle la redondance peut aussi être utilisée à ce niveau.

Étant donné que la redondance implique l'ajout de composants ou de systèmes supplémentaires, elle peut entraîner un surcoût important. C'est pourquoi le principe de redondance n'est généralement appliqué qu'aux systèmes les plus critiques. Une analyse des risques, portant à la fois sur la probabilité que le risque se concrétise et sur les répercussions négatives qu'il pourrait entraîner, peut aider à évaluer la nécessité de prévoir des solutions redondantes. L'hôpital est l'exemple typique de bâtiment pour lequel il est nécessaire d'investir dans de telles solutions.

Le [site Internet du cluster Smart Building](#) présente plusieurs exemples concrets de *smart buildings* dans lesquels l'importance de la fiabilité des systèmes est abordée. Parmi eux, citons notamment l'[AZ Zeno à Knokke](#).



Dans cet hôpital, la fiabilité des systèmes est au premier plan.

Une autre mesure susceptible d'avoir des effets positifs sur la fiabilité des composants et des systèmes est la réalisation de sauvegardes et de *logbooks* (registres). En effet, après un événement inattendu, les *logbooks* permettent d'analyser les problèmes plus en profondeur et, grâce aux sauvegardes, les composants ou les systèmes peuvent à nouveau fonctionner assez rapidement.

La redondance peut s'avérer tout aussi précieuse pour les applications dédiées aux utilisateurs. Par exemple, un système de contrôle d'accès automatique fonctionnant via une application *smartphone* doit idéalement aussi offrir d'autres options d'accès (via un badge, p. ex.). Autre exemple : les utilisateurs peuvent non seulement contrôler l'éclairage artificiel à l'aide de leur *smartphone* ou de leur tablette personnelle, mais ils peuvent aussi le faire au moyen d'actionneurs dans la pièce elle-même (écran tactile, boutons-poussoirs, etc.).

Enfin, la fiabilité des données est également essentielle. En ce qui concerne les données émanant des systèmes, cet aspect sera principalement déterminé par la fiabilité des systèmes eux-mêmes et par celle des dispositifs qui en assurent la connectivité numérique. Soulignons, dans ce contexte, que la qualité de certaines sources de données externes (données météorologiques en ligne, qualité de l'air, etc.) est parfois incertaine.

Si l'on utilise des systèmes qui se basent sur des données, il importe de tenir compte de la possibilité que toutes les données ne soient pas d'excellente qualité (valeurs irréalistes, p. ex.) ou que certains capteurs ou sources de données externes soient temporairement indisponibles. La fiabilité des données peut effectivement avoir un impact majeur sur le bon fonctionnement des systèmes (système de ventilation contrôlé sur la base

⁽²⁷⁾ Pour plus d'informations sur R2S et WiredScore, on consultera la publication 'Quantifier l'intelligence des bâtiments' disponible sur le site Internet <https://www.smartbuildingsinuse.be/fr/publications-et-articles/>.

des mesures de CO₂, p. ex.). Nous conseillons donc de vérifier la fiabilité des données collectées (en effectuant une validation ou une vérification croisée, p. ex.) ⁽²⁸⁾. Cette vérification, en particulier pour les grandes quantités de données, doit de préférence s'effectuer de manière automatique (par le biais d'un logiciel de détection des anomalies, p. ex.).

5.4 Vie privée et propriété des données

En général, les bâtiments intelligents collectent et traitent un nombre élevé de données. Dès lors, une grande attention doit être accordée à la vie privée, surtout s'il s'agit de données pouvant être directement liées à des individus. D'une part, des dispositions légales stipulent la marche à suivre pour traiter ces données à caractère personnel et, d'autre part, il est important d'informer suffisamment les utilisateurs du bâtiment quant à la nature exacte des données collectées et aux finalités de leur traitement. Dans ce contexte, la question de la propriété des données ne doit pas non plus être perdue de vue.

Le Règlement général sur la protection des données (RGPD), ou *General Data Protection Regulation* (GDPR), s'applique à toutes les organisations qui collectent et traitent des données à caractère personnel de résidents de l'Union européenne. Par données à caractère personnel, on entend toutes les données qui peuvent être reliées à une personne identifiable. Il peut s'agir de données à caractère personnel direct (adresse, numéro de téléphone, adresse IP ou plaque d'immatriculation, p. ex.) et de données à caractère personnel indirect (données récoltées par un capteur de mouvement ou données de consommation d'énergie) à partir desquelles la présence d'une personne spécifique peut être déduite. Le RGPD établit un certain nombre de règles que toutes les organisations traitant ce type de données sont tenues de respecter. Ainsi, le traitement de ces dernières sans consentement explicite n'est autorisé que dans des cas spécifiques (pour se conformer à une réglementation, p. ex.). Dans tous les autres cas, la personne concernée doit donner son consentement explicite.

En fonction de la situation, d'autres réglementations pertinentes en matière de vie privée doivent aussi être prises en compte, telles que la loi belge sur les caméras [S1].

La collecte de grandes quantités de données qui, en fin de compte, ne sont que peu ou pas exploitées n'apporte aucune valeur ajoutée et doit donc être évitée.

Outre le cadre juridique relatif à la vie privée qui doit être respecté, il convient de réfléchir de manière critique au degré de détail nécessaire des informations collectées pour les applications souhaitées. Par exemple, la détection de présence se fait parfois à l'aide de caméras et d'un système de reconnaissance faciale. Cependant, pour cette application, on pourrait se contenter de travailler avec des détecteurs de mouvement à infrarouge (qui ne permettent pas de distinguer les individus). La collecte de grandes quantités de données qui, en fin de compte, ne sont que peu ou pas exploitées n'apporte aucune valeur ajoutée. À l'époque où les *smart buildings* n'en étaient qu'à leurs balbutiements, on entendait souvent dire 'plus il y a de données, mieux c'est'. Aujourd'hui, la situation a quelque peu changé. Ainsi, il faut non seulement prendre en compte les aspects liés à la vie privée, mais aussi garder à l'esprit que le stockage des données collectées a un certain coût. Par conséquent, il est préférable de collecter une quantité limitée de données, d'en vérifier l'exactitude et de les utiliser pleinement pour différentes applications, plutôt que d'investir dans le stockage de données qui s'avèrent inutiles au bout du compte.

En plus de respecter le RGPD et de réfléchir au degré de détail nécessaire pour les données collectées, il importe de prendre suffisamment en compte les avis et les questions des utilisateurs du bâtiment. Par exemple, l'installation de caméras ou de systèmes permettant un monitoring individuel soulève souvent des questions et des inquiétudes. Même lorsque les données collectées par ces systèmes sont purement desti-

⁽²⁸⁾ Si des composants sont indisponibles ou si des défauts perceptibles surviennent, il est possible, par exemple, de créer des notifications ou de générer des rapports automatiques qui seront envoyés à la partie responsable.

nées à être traitées de manière anonyme et que leur utilisation ne nécessite pas de consentement explicite, nombreux sont ceux qui s'en méfient. Une communication transparente entre les différentes parties est très importante dans ce contexte. Avant d'imposer aux utilisateurs du bâtiment un système particulier, il faut les informer qu'un système sera installé, préciser de quel système il s'agit et à quoi il servira (mais aussi à quoi il ne servira pas !). En outre, il convient de répondre de manière constructive aux questions des utilisateurs du bâtiment afin que l'intégration de la technologie soit acceptée unanimement. Dans l'idéal, les utilisateurs du bâtiment devraient déjà être invités à donner leur avis pendant la phase de conception de manière à pouvoir opter pour des systèmes et des stratégies en matière de données avec lesquels ils se sentent à l'aise. Si la communication est insuffisante, il existe un risque réel que les utilisateurs du bâtiment se montrent hostiles aux systèmes mis en œuvre et, dans certains cas, tentent même d'en empêcher le fonctionnement (en recouvrant les capteurs avec de l'adhésif ou en les retirant, p. ex.).

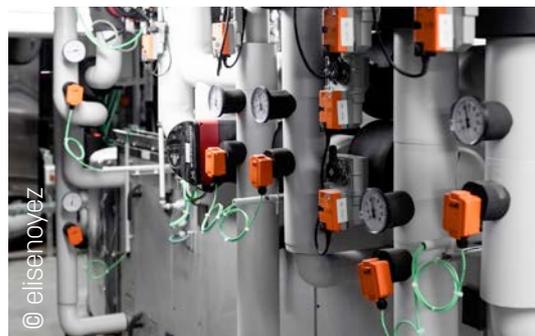
Enfin, il convient d'accorder l'attention nécessaire à la question de la propriété des données. Si l'on fait appel à des parties externes pour certains services au sein du bâtiment, il importe, par exemple, de conclure des accords appropriés sur la propriété des données collectées, leurs finalités, les données qui doivent être mises à disposition, etc.

5.5 Commissioning

Le *commissioning* (ou commissionnement) peut être défini comme un processus de gestion de la qualité garantissant qu'un bâtiment réponde pendant la phase d'exploitation aux objectifs fixés lors de la phase de conception (en ce qui concerne la consommation d'énergie, le climat intérieur, la facilité d'utilisation, etc.). Bien que ce terme soit souvent associé à l'exécution de tests de validation menés dans la phase finale d'un projet, il couvre en réalité un champ d'application plus large. Dans l'idéal, le processus de *commissioning* débute déjà pendant la phase de conception et est mené en général par un partenaire externe, connu sous le nom d'agent de commissionnement (*commissioning agent*). La bonne application du processus de *commissioning* offre de nombreux avantages tels que la réduction du risque de conflit pendant et après la phase de réception, l'amélioration des performances et la réduction de la consommation d'énergie pendant la phase d'exploitation. Par conséquent, il n'est pas surprenant que le *commissioning* soit repris dans les critères d'attribution des labels de durabilité comme BREEAM et LEED. Le *commissioning* peut aussi être appliqué tout au long de la phase d'exploitation afin de maintenir le niveau des performances de manière continue (concept de *commissioning* continu).

Plus les installations d'un bâtiment deviennent complexes, plus grand est le risque que les objectifs fixés lors de la phase de conception ne soient pas atteints lors de la phase d'exploitation. Nous recommandons dès lors d'accorder une attention accrue au processus de *commissioning* dans les *smart buildings*, dont les systèmes sont en général un peu plus nombreux ou plus complexes.

Le [site Internet du cluster Smart Building](#) présente plusieurs exemples concrets de *smart buildings* dans lesquels l'importance du *commissioning* est abordée. Parmi eux, citons notamment le nouveau [bâtiment de Buildwise à Zaventem](#).



Dans le nouveau bâtiment de Buildwise à Zaventem, l'accent est fortement mis sur le *commissioning*.

5.6 Gestion et maintenance des systèmes intelligents

La gestion et la maintenance sont essentielles pour tous les bâtiments. Cependant, compte tenu de la multitude et de la complexité des composants et des systèmes présents dans un *smart building*, cet aspect est d'autant plus important dans ce type de bâtiment. Pour les grands bâtiments, ces tâches peuvent être réparties entre plusieurs départements ou organisations internes et externes (*facility management*, département IT, etc.). En outre, il y a de fortes chances que les tâches et les responsabilités y afférentes soient transférées entre différentes parties à plusieurs reprises au cours de la vie du bâtiment.

Il est donc très important que les systèmes spécifiques de *smart building* soient configurés de manière logique et systématique et que cette configuration soit accessible et bien documentée. Il est également essentiel de fournir les formations nécessaires aux personnes chargées de leur gestion et de leur maintenance. Ce constat est d'autant plus vrai pour les systèmes principalement basés sur des logiciels car, en fonction de l'organisation concernée, cela peut couvrir des connaissances et des compétences relativement neuves.



Fig. 16 La gestion et la maintenance des systèmes intelligents est un point de vigilance non négligeable pour les *smart buildings*.

Afin d'éviter tout malentendu lié aux responsabilités des différentes parties concernées, il importe aussi de définir le périmètre des différentes tâches de maintenance aussi clairement que possible (qui fait quoi ?). Une fois que tout est clair, on peut créer les comptes d'utilisateurs, les procédures d'identification et les droits d'accès appropriés, mais aussi paramétrer les alarmes, les notifications et les rapports générés par les systèmes de sorte qu'ils parviennent aux bonnes personnes.

Un autre point de vigilance majeur dans la gestion et la maintenance des systèmes présents dans un *smart building* est la gestion des mises à jour à opérer pour les différents systèmes au cours de la phase d'exploitation. Il peut s'agir de mises à jour critiques de sécurité qui doivent généralement être installées dès que possible, ou de mises à jour périodiques ayant pour but, par exemple, d'ajouter ou de supprimer des fonctionnalités. Avant de procéder au déploiement des mises à jour, il importe d'évaluer leur incidence potentielle sur les systèmes sous-jacents et parents et, si nécessaire, d'effectuer des sauvegardes préventives.

5.7 Couverture sans fil

La généralisation croissante de la communication sans fil auprès des utilisateurs finaux et dans les systèmes implique qu'il faut accorder une attention accrue à la couverture sans fil au sein des bâtiments. Une conception et une mise en œuvre correctes du réseau sans fil sont très importantes, et ce, en particulier dans les bâtiments récents où les matériaux de construction (béton, isolation, etc.) peuvent parfois provoquer une forte atténuation des ondes radio.

En général, les utilisateurs finaux doivent bénéficier d'une couverture Wi-Fi et d'une couverture cellulaire mobile (2G, 3G, 4G, 5G, etc.). Pour cette dernière, la couverture extérieure mobile existante sera insuffisante dans certains cas (zone rurale, bâtiments avec une forte atténuation, etc.) et nécessitera la mise en place d'une solution supplémentaire. Par exemple, cette solution peut se traduire par une réduction de l'atténuation des ondes radio par le bâtiment (en évitant d'utiliser du métal dans les matériaux de construction, p. ex.) ou par l'installation d'antennes supplémentaires dans le bâtiment en accord avec le ou les opérateurs de télécommunications concernés. Dans certains cas, ces antennes supplémentaires peuvent être partagées entre les opérateurs (qui connectent alors chacun leurs propres installations émettrices à un système passif d'antennes distribuées). Si vous souhaitez plus d'informations sur la couverture mobile dans les bâtiments, les systèmes d'antennes distribuées (systèmes DAS) et les procédures relatives aux infrastructures partagées pour la couverture à l'intérieur des bâtiments, vous pouvez consulter le site Internet <https://www.ibpt.be/opérateurs/indoor-coverage>. Le coût d'une installation d'antenne intérieure, en particulier pour les grands bâtiments, peut être élevé. Il est donc recommandé d'inclure ce coût (ou une estimation de celui-ci) dans le budget.

Dans certains cas, une obligation légale prévoit aussi de garantir une couverture mobile pour le réseau ASTRID qui est utilisé par la police, les pompiers et les services de secours ⁽²⁹⁾.

Les systèmes eux-mêmes peuvent aussi être dépendants d'une couverture sans fil. Par exemple, certaines commandes et certains capteurs utilisent le Wi-Fi ou des protocoles sans fil LPWAN ou WPAN spécifiques tels que le Bluetooth ou LoRaWAN.

Le [site Internet du cluster Smart Building](#) présente plusieurs exemples concrets de smart buildings où le thème des réseaux sans fil est abordé. Parmi eux, citons notamment le bâtiment ['t Centrum de Kamp C à Westerlo](#).



Les réseaux sans fil jouent un rôle important dans le bâtiment 't Centrum de Kamp C à Westerlo.

⁽²⁹⁾ Si vous souhaitez de plus amples informations à ce sujet, vous pouvez consulter le site Internet <https://www.astrid.be/fr/couvertureindoor>.

6 Outils et labels existants

De nombreux outils pouvant s'avérer utiles pour réaliser des projets de *smart building* sont déjà disponibles aujourd'hui. Par exemple, plusieurs cadres de référence, labels et programmes de certification traitent directement ou indirectement des aspects liés aux *smart buildings*.

L'émergence de ces outils suggère une croissance de la demande pour l'évaluation et la comparaison des projets de *smart building*. Il existe non seulement des outils dédiés aux aspects technologiques (mise en place de l'infrastructure numérique de base, p. ex.), mais aussi des outils davantage consacrés aux applications. Ci-dessous, nous vous donnons un aperçu non exhaustif des outils existants qui peuvent s'avérer directement ou indirectement utiles dans le contexte des *smart buildings* :

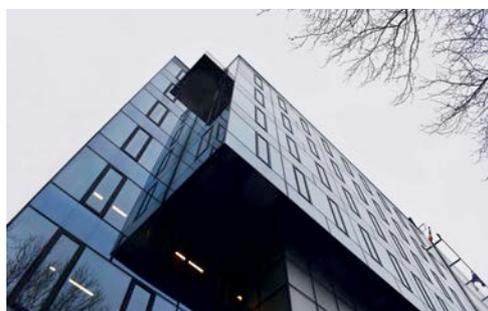
- *smart readiness indicator* (SRI)
- *Ready2Services* (R2S)
- *WiredScore* et *SmartScore*
- *Smart Building Collective*
- *SPIRE Smart Building Program*
- *WELL*.

Si vous souhaitez davantage d'informations sur les cadres de référence, les labels et les programmes de certification, vous pouvez consulter le site Internet <https://www.clustersmartbuilding.be/fr/labels-et-outils/>.

Le [site Internet du cluster Smart Building](#) présente plusieurs exemples concrets de *smart buildings* où le thème de la quantification de l'intelligence des bâtiments est abordé. Parmi eux, citons notamment le [bâtiment Galilée](#) et [The House of Belgian Builders \(ou HUBB\)](#), le nouveau siège d'Embuild, tous deux situés à Bruxelles.



A. Le bâtiment Galilée à Bruxelles



B. The House of Belgian Builders (HUBB)

7 Conclusions

Les *smart buildings* ont pour objectif de créer de la valeur ajoutée pour les utilisateurs, le bâtiment et l'environnement. On peut aussi bien y parvenir en maximisant les aspects positifs (confort, flexibilité, expérience utilisateur, optimisation de l'occupation, etc.) qu'en minimisant les aspects négatifs (consommation d'énergie, coûts énergétiques, besoins de maintenance, de nettoyage, de remplacement, etc.).

Les trois fonctions suivantes sont prépondérantes dans un projet de *smart building* :

- collecter des données et fournir des informations (monitoring, analyse comparative, p. ex.)
- offrir (des possibilités pour) l'automatisation et l'optimisation
- créer des possibilités d'interaction avec l'utilisateur et placer ce dernier au cœur de la démarche (*user centricity*).

Les possibilités offertes par les bâtiments intelligents sont susceptibles d'évoluer fortement au cours des prochaines années. Pourtant, les *smart buildings* dépassent désormais la fiction. En effet, en 2024, une gamme très riche et mature de solutions *smart building* est déjà disponible sur le marché. De plus, cette technologie peut couvrir de nombreux domaines d'application et les solutions qui ont déjà prouvé leur efficacité sont légion. Un bâtiment intelligent offre à la fois des bénéfices directs et indirects. Par exemple, le *facility management* (du point de vue de la maintenance et de la gestion) et la gestion de l'énergie sont deux domaines qui offrent des opportunités significatives aux entrepreneurs, aux installateurs et aux sociétés de maintenance ainsi qu'à leurs clients. Cependant, il ne s'agit certainement pas des seuls domaines d'application dans lesquels les *smart buildings* peuvent offrir une valeur ajoutée.

Cela ne signifie pas non plus que chaque projet doit couvrir tous les domaines d'application. Ainsi, lorsqu'on lance un projet de *smart building*, il est très important de commencer par une analyse détaillée des besoins, sur la base de laquelle on peut ensuite sélectionner un certain nombre de cas d'usage clairs. Tout au long du processus de décision, il convient de garder à l'esprit le budget disponible. Tous les bâtiments ne doivent pas être à la pointe de la technologie. Il existe différents degrés d'intelligence des bâtiments et les ambitions peuvent aussi être ajustées au fil du temps. Par conséquent, il est essentiel que la définition des besoins au début du projet prenne en compte non seulement les besoins actuels du bâtiment, mais aussi ceux de demain. On s'assure de cette façon que les choix opérés sont pérennes.

De nombreux projets de *smart building* doivent assurer l'interaction entre les techniques du bâtiment et les systèmes d'information qui fonctionnent traditionnellement en même temps et indépendamment les uns des autres. Le cas échéant, il importe donc d'impliquer toutes les parties dans le projet le plus tôt possible. Dans ce contexte, nous recommandons également de désigner un coordinateur chargé de conserver une vue d'ensemble de tous les systèmes à intégrer et de la manière dont ils doivent être reliés entre eux. Ces actions contribueront à simplifier la réalisation du projet.

Toute personne qui n'est pas encore familiarisée avec les *smart buildings*, mais qui souhaite acquérir de l'expérience, a tout intérêt à s'inspirer d'autres projets de *smart building* et à mettre la main à la pâte. Il est conseillé de commencer par un projet dont le champ d'application est restreint (objectif bien défini et mesuré, déploiement minimal de personnes et de ressources et risques du projet limités). En procédant de la sorte, on peut, d'une part, se familiariser avec les solutions existantes et, d'autre part, acquérir une expérience pratique (Comment une application peut-elle apporter une valeur ajoutée ? Quels sont les points de vigilance ? Quels défis sont susceptibles de se présenter au cours de l'élaboration du projet ?).

Annexe A – Concepts associés

Un certain nombre de concepts qui se rapprochent (de près ou de loin) de celui de *smart building* sont souvent utilisés indifféremment, bien qu'ils ne signifient pas tous la même chose. Cela entraîne souvent de la confusion entre les différentes parties impliquées dans le projet de construction. La présente annexe reprend certains de ces concepts afin de clarifier leurs similitudes et leurs différences par rapport aux *smart buildings*.

A.1 L'Internet des objets (IoT)

Le concept d'Internet des objets (ou *Internet of Things*) suppose que certains objets sont connectés à un réseau de communication numérique tel qu'Internet. Ceux-ci peuvent avoir différentes fonctions dont voici quelques exemples :

- l'enregistrement et la transmission numérique d'informations relatives à l'environnement ambiant (capteurs de température, p. ex.)
- la réception d'informations numériques déclenchant une certaine action (lampe LED, p. ex.)
- une combinaison des deux fonctions précédentes (appareil de chauffage, p. ex.).

Il importe de pouvoir stocker et traiter les données ainsi collectées et de permettre une interaction avec les utilisateurs. Si l'on compare une solution IoT au corps humain, le stockage et le traitement des données peuvent correspondre au cerveau, le réseau de communication numérique aux voies neuronales et les objets aux cinq sens, aux organes, aux muscles, etc.

La plupart des applications IoT utilisent un grand nombre d'objets qui sont connectés (souvent sans fil) à une plateforme en ligne pour le stockage et le traitement des données (le *cloud*, voir § A.2, p. 57) et fournissent une interface utilisateur (site Internet ou application *smartphone*) accessible via Internet. Il existe des applications IoT pour toutes sortes de secteurs et de domaines : mobilité (véhicules partagés ou borne de recharge intelligente, p. ex.), logistique (géolocalisation des actifs, p. ex.), industrie (*industrial IoT*, *smart factory*, industrie 4.0, etc.), agriculture, soins de santé et bien d'autres. Le secteur de la construction s'inscrit aussi dans cette mouvance, car de nombreuses applications IoT (surveillance ou géolocalisation des actifs, p. ex.) sont également intégrables (y compris pendant la phase de construction).

Les concepts de *smart building* et d'Internet des objets ne sont pas synonymes. Les *smart buildings* peuvent toutefois être considérés comme un champ d'application de l'Internet des objets.

Les bâtiments intelligents peuvent également être considérés comme un champ d'application de l'IoT. En effet, un *smart building* contient des objets qui sont connectés entre eux par le biais de réseaux de communication numériques. Localement (pour connecter un capteur de mouvement, p. ex.), on opte souvent pour un raccordement via des systèmes de type bus, tandis qu'à un niveau plus élevé, la connexion passe de plus en plus via des réseaux IP⁽³⁰⁾. Par ailleurs, dans un *smart building*, les données collectées sont stockées et traitées et une interaction avec l'utilisateur est possible (panneaux de contrôle dans les différents espaces, tableaux de bord par le biais de pages Internet ou d'applications *smartphone*). Cela ne signifie pas nécessairement que tous les systèmes présents dans le bâtiment ont un accès direct à Internet ou que seuls les objets sans fil peuvent être utilisés. Il importe néanmoins que tous les objets puissent être consultables ou contrôlables de manière centralisée.

⁽³⁰⁾ Les publications 'Interopérabilité dans les *smart buildings*' et 'Connectivité numérique dans les bâtiments' peuvent être consultées sur le site Internet <https://www.clustersmartbuilding.be/fr/publications-et-articles/>.

A.2 Le cloud

Lorsque le stockage et le traitement des données sont effectués sur des serveurs (le plus souvent dans de grands *data centres*) gérés par un tiers et accessibles via Internet, on parle de services *cloud* ou de *cloud computing*. L'utilisateur n'a pas besoin d'investir dans l'équipement, mais paie une redevance périodique pour l'utilisation des services offerts. Ce concept se nomme également *as a service* (aaS). Étant donné que le *cloud* est très accessible (une connexion Internet suffit) et qu'il est très facile à utiliser, la popularité de ce type de services est en hausse.

Cependant, les services *cloud* présentent des inconvénients potentiels. En effet, la connexion Internet requise a un coût, nécessite toujours un certain temps de réponse (en fonction de l'emplacement physique des serveurs) et propose un débit limité. En outre, l'envoi de données par Internet comporte toujours un risque du point de vue de la sécurité (cybersécurité, voir § 5.2, p. 47) et implique de faire confiance à un tiers (risques liés à l'interruption du service, à sa qualité, à la protection des données à caractère personnel, etc.).



Fig. 17 Dans le *cloud computing*, le stockage et le traitement des données s'effectuent sur des serveurs externes, accessibles via Internet.

L'*edge computing* est un bon compromis entre le *cloud computing* et le stockage local et offre de plus une bonne puissance de calcul. Dans ce cas, une partie du stockage et du traitement des données s'effectue sur des serveurs locaux, tandis qu'une autre partie est réalisée via le *cloud computing*. Il est ainsi possible de combiner les avantages du stockage et d'un traitement des données de manière locale et ceux du *cloud*. En effet, l'*edge computing* permet d'exécuter des services de manière locale plus rapidement et avec une meilleure fiabilité, mais aussi de réduire la sollicitation de la connexion Internet. Parallèlement, il permet de faire appel à l'énorme capacité de stockage et à la grande puissance de calcul du *cloud* (pour les algorithmes d'IA, p. ex.).

A.3 Système de gestion technique des bâtiments (GTC / GTB)

On associe souvent le concept des *smart buildings* et celui des systèmes GTC (Gestion technique centralisée) ou GTB (Gestion technique des bâtiments) qui sont également appelés BMS en anglais pour *building management systems*. Cependant, tous les bâtiments qui utilisent un système de gestion des bâtiments ne

sont pas forcément des *smart buildings*. *A contrario*, un système de gestion des bâtiments sera en général utilisé dans un *smart building*. La GTC est une solution technologique déployée pour la gestion et le contrôle des installations techniques d'un bâtiment. Sa complexité s'est considérablement accrue au cours des dernières décennies (en raison d'une interface utilisateur centrale et de l'automatisation, p. ex.). Dans un *smart building*, la GTC sera généralement associée à d'autres solutions technologiques pour obtenir la fonctionnalité souhaitée. La figure 18 présente deux exemples de systèmes de gestion de bâtiments qui recourent à un PLC (*programmable logic controller*).



Fig. 18 Exemples de systèmes de gestion des bâtiments utilisant un PLC (*programmable logic controller*).

A.4 Système d'exploitation du bâtiment (BOS)

Par analogie avec le système d'exploitation des ordinateurs et des *smartphones* (en anglais, OS pour *operating system*), le concept de BOS (*building operating system*) a été introduit pour les bâtiments.

Dans un ordinateur ou un *smartphone*, le système d'exploitation (OS) peut être défini comme une plateforme contrôlant toutes les fonctionnalités de base (interaction avec l'écran, le clavier, etc.), de manière à ce que ces dernières puissent être facilement utilisées par toutes les applications.

Un système d'exploitation du bâtiment (BOS) applique aux bâtiments la philosophie d'un système d'exploitation (OS) propre aux ordinateurs et aux *smartphones*.

Le BOS (*Building Operating System*) applique la même philosophie aux bâtiments. C'est une plateforme logicielle globale à l'échelle du bâtiment qui interagit avec les différents systèmes. Il assure le stockage et le traitement des données et prend également en charge les applications logicielles (externes ou non) pour mettre en œuvre les fonctionnalités souhaitées du bâtiment intelligent. Un BOS se situe un échelon au-dessus de la GTC et permet l'intégration de systèmes supplémentaires qui ne sont généralement pas gérés par la GTC (systèmes de caméras, p. ex.) (voir figure 19, p. 59).

Par exemple, si un utilisateur ou un gestionnaire de bâtiment souhaite optimiser la consommation énergétique, il peut configurer une application logicielle à cet effet. Cette application lui donne un aperçu des données de consommation et lui permet d'intervenir manuellement ou automatiquement sur les installations techniques. À cette fin, l'application obtient les données des capteurs nécessaires via le BOS et effectue également via cet accès les éventuels contrôles des installations.

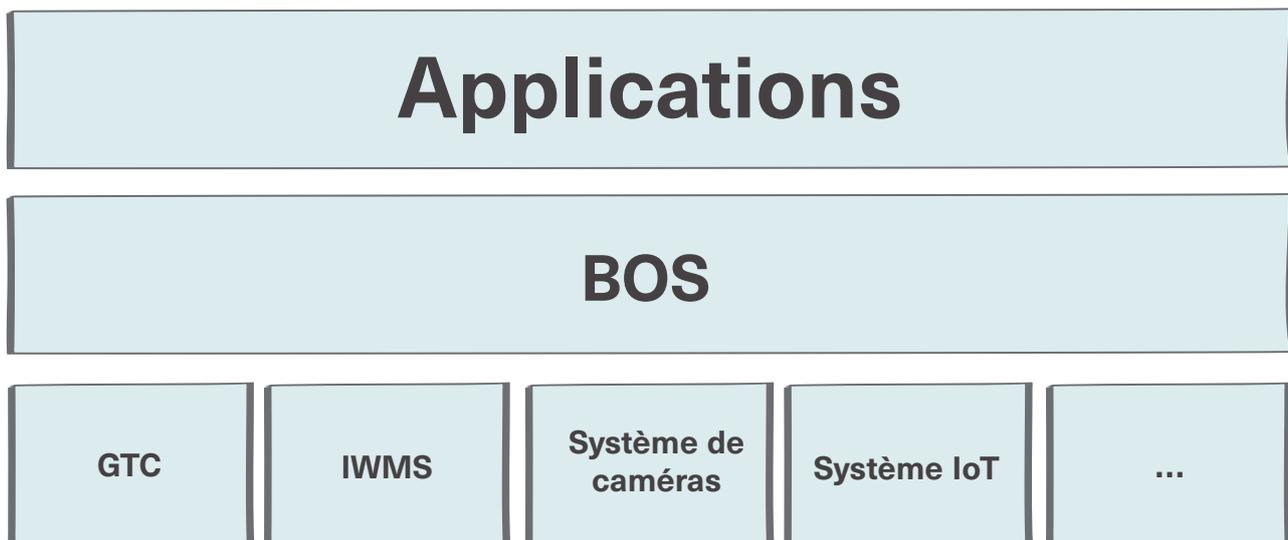


Fig. 19 Un système d'exploitation du bâtiment (BOS) est une plateforme logicielle globale qui permet toutes sortes d'applications grâce à une intégration poussée des différents systèmes à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment.

A.5 Jumeau numérique et rôle du BIM

Appliqué aux bâtiments en exploitation, le concept de jumeau numérique peut être défini comme un modèle numérique (virtuel) de tout ou d'une partie d'un bâtiment physique alimenté par des données (issues de capteurs) provenant de ce bâtiment. En outre, il facilite la communication dans l'autre sens – c'est-à-dire le contrôle des systèmes ou des actionneurs à l'intérieur du bâtiment (physique) à l'aide de données issues du jumeau numérique (virtuel). Autrement dit, cette interface bidirectionnelle permet au modèle virtuel et au bâtiment physique de communiquer entre eux et d'échanger des données.

On pense souvent à tort qu'un jumeau numérique nécessite un modèle 3D, mais ce n'est pas forcément le cas. L'essentiel est de rassembler, de structurer et de rendre les données disponibles pour les applications souhaitées. Les figures 20 et 21 (p. 60) présentent quelques exemples de jumeau numérique.

Cependant, le BIM peut jouer un rôle important dans le développement d'un jumeau numérique. Ainsi, au cours des phases de conception et d'exécution, un modèle BIM sera souvent créé, élaboré et alimenté par toutes sortes de données non géométriques pertinentes, en plus des informations géométriques (3D). Ce modèle peut être utilisé, entre autres, pendant la phase de conception pour effectuer des simulations (structurelles, thermiques, etc.). Un modèle BIM peut aussi constituer une source d'information intéressante pendant la phase d'exploitation et en particulier lorsqu'il s'agit de travailler avec un jumeau numérique. Par exemple, les informations géométriques (3D) du modèle BIM peuvent être utilisées pour concevoir les interfaces utilisateur du jumeau numérique (applications de réalité augmentée, p. ex.; voir figure 22, p. 60). Les données non géométriques du modèle BIM peuvent aussi être utiles, notamment pour aider à façonner la structure du modèle de données sous-jacent du jumeau numérique (jusqu'à un certain point).

Les données et les interfaces nécessaires à un jumeau numérique spécifique dépendent évidemment des applications pour lesquelles ce dernier sera déployé.

Pour plus d'informations sur le BIM, on consultera le site Internet <https://digitalconstruction.be/fr/technology/bim/>.



Fig. 20 Exemple de jumeau numérique dans la plateforme aug-e, issue d'une collaboration entre les entreprises BESIX, Proximus et i.Leco.

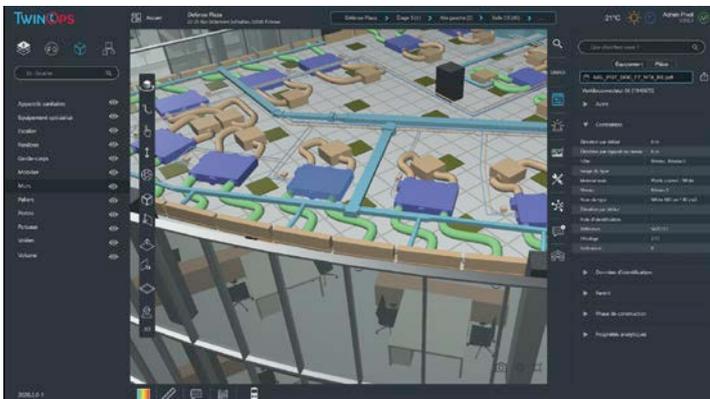


Fig. 21 Reproductions d'un jumeau numérique et d'une analyse de données détaillée dans la plateforme TwinOps, développée au sein du groupe VINCI.

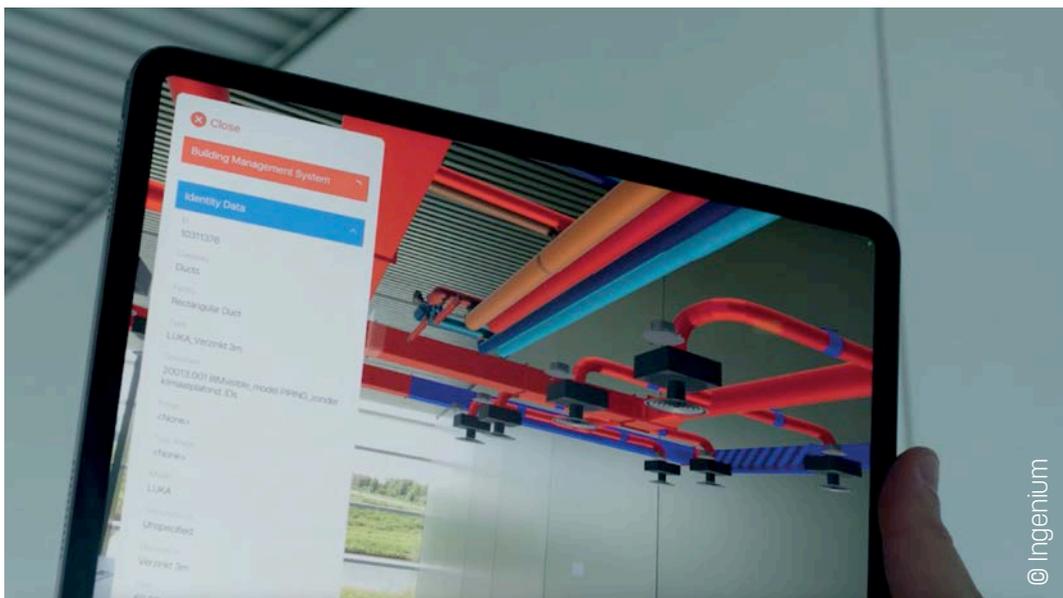


Fig. 22 Exemple de l'application AR BIMvisible, développée par Ingenium en collaboration avec Savaco et In The Pocket. Dans ce cas, diverses données statiques (extraites entre autres du modèle BIM) sont combinées avec des données (de capteurs) dynamiques en temps réel issues des installations visualisées.

Annexe B – Liste d'abréviations

La présente annexe reprend un glossaire des abréviations utilisées dans ce document.

aaS	<i>as a service</i> Modèle commercial dans lequel une entreprise fournit un service ou une fonctionnalité à un client (contre rémunération) sans que ce dernier ne possède ni ne gère (entièrement) lui-même l'infrastructure sous-jacente.
API	interface de programmation applicative (<i>application programming interface</i>) Type d'interface logicielle qui permet à deux ou à plusieurs applications logicielles de communiquer et de partager mutuellement des données et des fonctionnalités.
B2B	<i>business to business</i> Relation/interaction entre entreprises (situation dans laquelle une entreprise effectue une transaction commerciale avec une autre entreprise).
B2C	<i>business to customer</i> Relation/interaction entre une entreprise et le client (situation dans laquelle des produits ou services sont vendus directement aux clients, sans intervention d'un tiers).
BACS	système d'automatisation et de contrôle des bâtiments (<i>building automation and control system</i>) Système qui surveille et ajuste automatiquement les appareils qui consomment de l'énergie dans les bâtiments. Il permet d'offrir un environnement confortable tout en optimisant la consommation d'énergie.
BMS	<i>building management system</i> Système utilisé pour gérer et contrôler les installations techniques du bâtiment (système HVAC, installations électriques, éclairage artificiel, stores, etc.). En français, on utilise l'abréviation GTC ou GTB.
BOS	système d'exploitation du bâtiment (<i>building operating system</i>) Plateforme logicielle globale à l'échelle du bâtiment et connectée à ses différents systèmes. Elle assure le stockage et le traitement des données et prend également en charge les applications logicielles afin de fournir les fonctionnalités souhaitées du bâtiment intelligent. Dans la hiérarchie, un BOS est au-dessus d'une GTC.
BSP	fournisseur de services d'équilibrage (<i>balancing service provider</i>) Acteur qui aide en temps réel à maintenir l'équilibre entre l'offre et la demande en électricité, garantissant ainsi la stabilité et la fiabilité du réseau électrique.
CAPEX	dépenses d'investissement (<i>capital expenditures</i>) Les dépenses CAPEX sont engagées pour l'achat, la maintenance ou l'amélioration d'actifs fixes tels que des bâtiments, des véhicules, des équipements, etc.
DBFM(O)	<i>design, build, finance, maintain (operate)</i> Forme de contrat intégré dans lequel le prestataire est responsable de la conception, de la construction, du financement, de la maintenance et éventuellement de l'exploitation de l'objet du contrat. Ce type de contrat est souvent conclu dans les grands projets d'infrastructure et de construction.
EMIS (ou EMS)	système (d'information et) de gestion de l'énergie (<i>energy management (and information) system</i>) Système utilisé dans le cadre du contrôle et du <i>commissioning</i> et plus particulièrement pour organiser, visualiser et analyser les données liées à la consommation et à l'utilisation de l'énergie (et éventuellement pour l'optimiser).
EPC	contrat de performance énergétique (<i>energy performance contracting</i>) Contrat dans lequel le donneur d'ordre convient avec un prestataire de services énergétiques des économies d'énergie à réaliser (définition complète dans la note de bas de page ⁽⁶⁾ , p. 19).

ESCO	société de services énergétiques (<i>energy service company</i>) Entreprise spécialisée dans la fourniture de services liés à l'efficacité énergétique et aux économies d'énergie, y compris la conception et la mise en œuvre de projets d'économie d'énergie, l'externalisation de l'infrastructure énergétique, la production d'énergie, la fourniture d'énergie, le contrôle, la maintenance, etc.
FDD	détection et diagnostic des défaillances (<i>fault detection and diagnostics</i>) Les systèmes FDD automatisent le processus de détection des défaillances et de détection de manques de performance des systèmes et permettent d'en identifier les causes.
FM	<i>facility management</i> (gestion des services de support) Discipline axée sur la fourniture efficace et effective de services logistiques et de support liés aux biens immobiliers et aux bâtiments.
FMIS	<i>facility management information system</i> Logiciel permettant la gestion centralisée des données liées au <i>facility management</i> . Son objectif est d'accroître l'efficacité de la planification et de l'exécution des processus liés au <i>facility management</i> .
GTB / GTC	gestion technique du bâtiment/gestion technique centralisée Système utilisé pour gérer et contrôler les installations techniques du bâtiment (système HVAC, installations électriques, éclairage artificiel, stores, etc.). En anglais, on utilise l'abréviation BMS (<i>building management system</i>).
HVAC	<i>heating ventilation and air conditioning</i> (chauffage, ventilation et climatisation) Terme générique désignant les installations techniques de chauffage, de ventilation et de traitement de l'air.
IWMS	solution de gestion intégrée de l'environnement de travail (<i>integrated workplace management system</i>) Logiciel dédié à l'organisation des lieux de travail. Le système rationalise les différents aspects de la gestion des biens et des services de support, ce qui aide les organisations à prendre des décisions plus adéquates et à utiliser les ressources de manière plus efficace.
KPI	indicateur clé de performance (<i>key performance indicator</i>) Indicateur mesurable choisi pour mesurer et évaluer les performances et l'évolution par rapport aux objectifs fixés afin de déterminer si les résultats souhaités sont atteints.
MPC	<i>model predictive control</i> Méthode de contrôle avancée qui vise à optimiser le paramétrage d'un système en utilisant un modèle mathématique dynamique du système et en faisant des prédictions sur son comportement futur.
OPEX	dépenses d'exploitation (<i>operating expenditures</i>) Dépenses opérationnelles destinées à soutenir les activités quotidiennes (loyer, services d'utilité publique et maintenance périodique, p. ex.).
PLC	<i>programmable logic controller</i> Ordinateur industriel utilisé pour automatiser des processus et contrôler des systèmes. Le PLC trouve son origine dans les applications industrielles, mais il est désormais aussi souvent utilisé comme élément d'un système de gestion du bâtiment.
R2S	<i>Ready2Services</i> Référentiel français qui a pour objectif de préparer les bâtiments à relever les défis de la numérisation et de la connectivité. Il est le fruit d'une collaboration entre la <i>Smart Buildings Alliance</i> , l'alliance HQE-GBC, Certivéa et Cerway.
ROI	retour sur investissement (<i>return on investment</i>) Mesure de rentabilité utilisée pour évaluer le rendement d'un investissement.
SLA	accord de niveau de service (<i>service level agreement</i>) Type de convention dans laquelle les engagements pris entre le fournisseur et le client d'un service ou d'un produit sont consignés.

SRI	<p><i>smart readiness indicator</i> (indicateur de potentiel d'intelligence) Indicateur représentant la mesure dans laquelle un bâtiment est technologiquement prêt à interagir avec ses utilisateurs et l'environnement extérieur. Dans le contexte des <i>smart buildings</i>, l'objectif principal de ces interactions est de rendre le bâtiment plus performant. Le concept de SRI a été développé à la demande de la Commission européenne.</p>
TCO	<p>coût total de possession (<i>total cost of ownership</i>) Estimation financière de tous les coûts associés à l'acquisition, l'utilisation et la maintenance d'un actif donné sur l'ensemble de son cycle de vie. L'objectif d'une analyse du TCO est d'obtenir un aperçu complet de tous les coûts associés à un investissement afin de pouvoir prendre des décisions en connaissance de cause.</p>

Bibliographie

B

Bellec, J.

- B1** The Smart Building requires its own Operating System (BOS)! (25 février 2019). Repris de : <https://www.linkedin.com/pulse/smart-building-requires-its-own-operating-system-bos-j%C3%A9r%C3%A9mie-bellec>

Bureau de normalisation (Bruxelles, NBN, www.nbn.be)

- B2** NBN EN 15221-4 Facilities management. Partie 4 : taxinomie, classification et structures. Bruxelles, NBN, 2011.

E

European Building Automation and Controls Association (eu.bac)

- E1** eu.bac publishes BACS Compliance Verification Checklist (2 novembre 2020). Repris de : <https://eubac.org/news/eu-bac-publishes-bacs-compliance-verification-checklist/>

I

ISSO

- I1** Publication ISSO 115 'Ontwerpeisen gebouwbeheersystemen' (1 août 2018). Repris de : <https://isso.nl/publicatie/isso-publicatie-115-ontwerpeisen-gebouwbeheersystemen/2018?query=115>

K

Kramer H., Lin G., Curtin C., Crowe E. et Granderson J.

- K1** Proving the Business Case for Building Analytics. Lawrence Berkeley National Laboratory (octobre 2020). Repris de : <https://doi.org/10.20357/B7G022>

L

Lawrence Berkeley National Laboratory

- L1** A National Roadmap for Grid-Interactive Efficient Buildings. U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. Building Technologies Office (17 mai 2021). Repris de : <https://gebroadmap.lbl.gov/>

M

Memoori

- M1** Future Proofing Smart Commercial Buildings (2019). Repris de : <https://memoori.com/portfolio/future-proofing-smart-commercial-buildings/>
- M2** Occupancy Analytics & In-Building Location Based Services (2020). Repris de : <https://memoori.com/portfolio/occupancy-analytics-in-building-location-based-services/>
- M3** The Internet of Things in Smart Commercial Buildings 2022 to 2027 (2022). Repris de : <https://memoori.com/portfolio/the-internet-of-things-in-smart-commercial-buildings-2022-to-2027/>

Memoori et Locatee

- M4** Navigating the Complex Smart Building Landscape. A comprehensive use case guide for corporate real estate professionals (2019). Repris de : <https://locatee.com/en/blog-post/navigating-the-complex-smart-building-landscape/>

P

Parlement européen

- P1** Directive 2012/27/UE du Parlement européen et du Conseil du 25 octobre 2012 relative à l'efficacité énergétique, modifiant les directives 2009/125/CE et 2010/30/UE et abrogeant les directives 2004/8/CE et 2006/32/CE. Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE (4 mai 2023). Repris de : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/ALL/?uri=celex%3A32012L0027>

Public Technology Inc. et US Green Building Council

- P2** Sustainable Building Technical Manual – Green Building Design, Construction, and Operations (1996). Repris de : <https://rucore.org.za/wp-content/uploads/2011/11/Sust-Bldg-Tech-Manual.pdf>

R

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland

- R1** Systeemeisen technische bouwsystemen - EPBD III (12 novembre 2019). Repris de : <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/wetten-en-regels/nieuwbouw/epbd-iii/systeemeisen-technische-bouwsystemen>

S

Service public fédéral Intérieur

- S1** Loi du 21 mars 2007 réglant l'installation et l'utilisation de caméras de surveillance. Bruxelles, Le Moniteur Belge, 31 mai 2007. Repris de : https://www.ejustice.just.fgov.be/cgi_loi/change_lg.pl?language=fr&la=F&cn=2007032139&table_name=loi

Smart Buildings Alliance

- S2** Cadre de référence R2S (sd). Repris de : <https://www.smartbuildingsalliance.org/en/project/r2s-frame-of-reference>

V

Van Gestel K., Van Garsse S., Paquay E. et Gauderis J.

- V1** DBFM. Handboek. Vlaamse overheid, Departement Financiën en Begroting (janvier 2019). Repris de : <https://www.vlaanderen.be/publicaties/dbfm-handboek>

Verbeke S., Aerts D., Reynders G., Ma Y. et Waide P.

- V2** Final report on the technical support to the development of a smart readiness indicator for buildings. Commission européenne, Direction générale de l'énergie. Office des publications de l'Union européenne (juin 2020). Repris de : <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/bed75757-fbb4-11ea-b44f-01aa75ed71a1/language-en>

W

Weygandt N.

- W1** Investeren in de slimme werkplek rendeert. Spacewell (2021). Repris de : <https://spacewell.com/nl/resources/whitepapers/investeren-in-de-slimme-werkplek-rendeert-whitepaper/>

Une édition de Buildwise (ex-Centre scientifique et technique de la construction),
établissement reconnu en application de l'arrêté-loi du 30 janvier 1947.

Éditeur responsable : Olivier Vandooren

Buildwise, Kleine Kloosterstraat 23

B-1932 Zaventem.

D/2024/0611/06

Publication à caractère scientifique visant à faire connaître les résultats des études et
recherches menées dans le domaine de la construction en Belgique et à l'étranger.

La reproduction ou la traduction, même partielles, des textes et des illustrations de la présente
publication n'est autorisée qu'avec le consentement écrit de l'éditeur responsable.

Illustrations : R. Hermans

Kleine Kloosterstraat 23
B-1932 Zaventem
Tél. 02/716 42 11

E-mail : info@buildwise.be
Site Internet : buildwise.be

- Avis techniques – Publications
- Gestion – Qualité – Techniques de l'information
- Développement – Valorisation
- Agréments techniques – Normalisation

Buildwise Limelette

Avenue Pierre Holoffe 21
B-1342 Limelette
Tél. 02/655 77 11

- Recherche et innovation
- Formation
- Bibliothèque

Buildwise Brussels

Rue Dieudonné Lefèvre 17
B-1020 Bruxelles
Tél. 02/233 81 00

Après plus d'un demi-siècle d'existence, le Centre scientifique et technique de la construction (CSTC) fait désormais place à Buildwise. Ce nouveau nom porte en lui une orientation nouvelle, davantage axée sur l'innovation, sur la collaboration et sur une approche pluridisciplinaire plus intégrée. Buildwise étant principalement financé par les redevances de quelque 100.000 entreprises de construction belges, celles-ci contribuent ainsi à motiver son action, notamment en définissant ses priorités et en pilotant ses travaux par le biais des Comités techniques.

Votre centre de recherche devient centre d'innovation

Fort des connaissances qu'il a acquises au fil des années, Buildwise s'est imposé comme le centre de référence et d'expertise du secteur de la construction. Buildwise se tient aux côtés de tous les acteurs impliqués dans l'acte de bâtir. Notre objectif ? Transmettre des connaissances qui améliorent réellement la qualité, la productivité et la durabilité, et ouvrir la voie à l'innovation sur chantier et dans l'entreprise.

Dynamiser le partage des connaissances et les interconnexions

Compte tenu de la grande complexité et de la forte fragmentation du processus de construction, Buildwise se doit de renforcer son rôle fédérateur. Nous ne pourrions relever les défis sectoriels et sociétaux qu'en mobilisant le secteur tout entier et en repensant nos modèles d'entreprise et notre façon de collaborer.

De la multidisciplinarité à la transdisciplinarité

Notre spécificité tient à notre approche pragmatique et multidisciplinaire. Pour trouver des solutions solides, il faut une stratégie globale et intégrée. C'est pourquoi nos ambitions s'articulent autour de trois piliers : les technologies numériques, la durabilité et le métier (représenté par les entrepreneurs au sein des Comités techniques).