

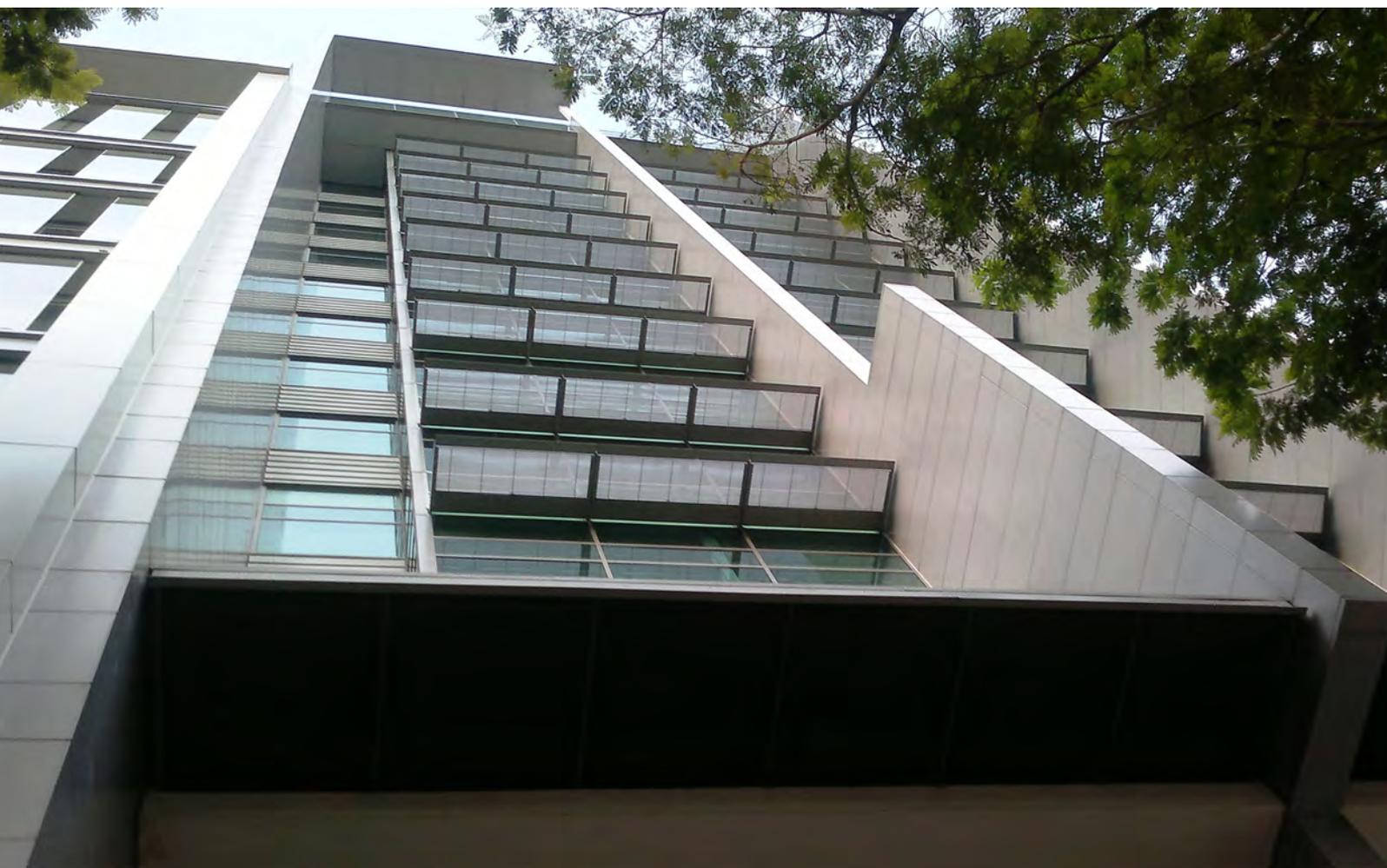


Série des Livrets TNA



Technologies pour l'Atténuation des Effets du Changement Climatique

– Secteur du Bâtiment –



UNEP
RISØ
CENTRE

ENERGY, CLIMATE
AND SUSTAINABLE
DEVELOPMENT

Technologies pour l'Atténuation des Effets du Changement Climatique

– Secteur du Bâtiment –

Auteur

Wynn Chi-Nguyen Cam

Août 2012



Le Centre du PNUE à Risoe pour l'Énergie, le Climat et le Développement Durable
Laboratoire National DTU à Risoe pour les Énergies Renouvelables
Boîte Postale 49
4000 Roskilde Danemark
Téléphone +45 4677 5129
Fax +45 4632 1999
<http://www.uneprisoe.org/> <http://tech-action.org/>

ISBN: 978-87-93130-46-3

Design et production:
Magnum Custom Publishing New Delhi, Inde info@magnumbooks.org

Photos:
Photo de couverture et photo au dos du livret: Avec l'aimable autorisation de Wynn Chi-Nguyen Cam

Ce livret peut être téléchargé à l'adresse suivante: <http://tech-action.org/>

Clause de Non-Responsabilité:

Ce livret vise à constituer un point de départ pour les gouvernements des pays en développement, les planificateurs, et les parties prenantes qui mènent des évaluations sur les besoins en technologie et préparent des plans d'actions pour l'atténuation au changement climatique dans le secteur des transports. Les observations, les suggestions et les conclusions présentées dans cette publication appartiennent entièrement à leurs auteurs et ne sont aucunement attribuables à l'institution ayant financé cette publication, le Fonds pour l'Environnement Mondial (FEM).

Table des Matières

<i>Liste des tableaux et des figures</i>	<i>v</i>
<i>Préface</i>	<i>ix</i>
<i>Remerciements</i>	<i>xi</i>
<i>Résumé</i>	<i>xiii</i>
1. Introduction et Plan	1
1.1 Introduction	1
1.2 Plan du livret	3
2. Résumé des principales conclusions sur la contribution du secteur de la construction dans les émissions de GES	5
2.1 Situation et tendances à l'échelle mondiale	5
2.2 Comprendre les émissions de GES à l'échelle d'un bâtiment	6
2.3 Comprendre les obstacles auxquels fait face l'atténuation des GES	11
3. Définition et typologies des atténuations	15
3.1 Définition de l'atténuation dans le secteur du bâtiment	15
3.2 Conception solaire passive – le prérequis pour les nouveaux bâtiments	18
3.3 Les 7 typologies d'atténuation	23
4. Technologies et pratiques d'atténuation dans le secteur du bâtiment	27
4.1 Utilisation innovante des pratiques et des matériaux de construction traditionnels	27
4.2 Techniques et design des maisons passives	35
4.3 Cycle de vie et processus de conception intégré	40
4.4 Construire l'isolation thermique de l'enveloppe du bâtiment	46
4.5 Systèmes haute performance pour façades de bâtiments	52

4.6	Les technologies d'exploitation de la lumière naturelle	63
4.7	Systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation à haute performance	70
4.8	Systèmes d'éclairage performant	77
4.9	Technologies d'économie d'eau	84
4.10	Les matériaux et produits de construction « puits de carbone » et ceux à faible teneur en carbone	94
4.11	Construire des systèmes de verdure intégrés relatifs aux bâtiments et les rendre plus « verts »	99
4.12	Les technologies solaires	111
4.13	Les éoliennes intégrées au bâtiment	119
4.14	Gestion de l'énergie et amélioration de la performance	124
4.15	Catalyseurs du changement de comportement	131
4.16	Services d'énergie communautaires	137
4.17	Conception et pratiques d'une communauté durable	142
5.	Mise en œuvre des technologies et des pratiques d'atténuation des effets du changement climatique	149
5.1	Hiérarchisation des technologies et des pratiques d'atténuation à l'échelle nationale	149
5.2	Stratégies de mise en œuvre de la technologie, les intervenants et le contexte	153
5.3	Étapes concrètes de la mise en œuvre	160
6.	Conclusions	165
	Références	167
	Annexe I: Résumé – Technologies et Pratiques d'atténuation des effets du changement climatique	177
	Annexe II: Glossaire	195
	Annexe III: Sources d'information supplémentaires sur les technologies et pratiques d'atténuation	201

Liste des tableaux et des figures

Liste des tableaux

Tableau 3.1.1	Technologies et pratiques de chaque typologie d'atténuation	17
Tableau 5.1.1	Cadre de prise de décision pour la hiérarchisation des technologies et pratiques d'atténuation au niveau national	151
Tableau 5.2.1	Les acteurs du secteur du bâtiment et leurs principales préoccupations (Wallbauma et al., 2010)	154
Tableau 5.2.2	Acteurs clés du secteur du bâtiment, leurs préoccupations classiques, et les engagements à lutter contre le changement climatique (en référence au PNUESBCI, 2009)	155

Liste des figures

Figure 1.1.1	Bâtiments associés au logement, à l'éducation, à l'emploi et au divertissement	1
Figure 2.2.1	Énergie utilisée pour les transports liés à la construction	7
Figure 2.2.2	Énergie utilisée pour les engins de constructions	8
Figure 2.2.3	Énergie (de fonctionnement) utilisée pendant l'étape d'exploitation du bâtiment (Hong Kong)	8
Figure 2.2.4	Démolition d'un bâtiment	9
Figure 2.2.5	Tri des matériaux pour le recyclage	9
Figure 2.2.6	Des bâtiments existants en bonne condition peuvent être une bonne occasion de lancer des rénovations qui consistent à rendre les bâtiments plus économes en énergie (Ville de Nottingham)	10
Figure 2.2.7	Demande en nouveaux immeubles dans les pays en développement (Vietnam)	11
Figure 3.2.1	La construction de bâtiments sur des sites impropres affecte la biodiversité; ces derniers sont souvent situés dans les montagnes, les forêts et les zones côtières	18
Figure 3.2.2	Construction adaptée à un terrain vallonné	19
Figure 3.2.3	Dans les tropiques, des logements denses sans fenêtres orientées à l'ouest	19
Figure 3.2.4	La géométrie du bâtiment crée un effet d'auto-ombrage – c.à.d., la plupart des fenêtres sont à l'abri de la lumière du soleil qui vient de la gauche de l'image	20
Figure 3.2.5	Méthode d'ombrages qui permettent néanmoins à la lumière naturelle d'accéder aux espaces intérieurs	20
Figure 3.2.6	Un exemple de lumière naturelle à l'intérieur d'un bâtiment	21
Figure 3.2.7	Dans les tropiques, design pour optimiser la ventilation naturelle	21
Figure 3.2.8	Ventilation naturelle et accès à la lumière du jour, une bonne combinaison pour une maison au Vietnam	22

Figure 3.2.9	Construction utilisant l'inertie thermique dans les climats tempérés d'Amérique du Nord	23
Figure 4.1.1	Fondations en terre tassée, en construction, Inde	28
Figure 4.1.2	Utilisation moderne des systèmes à eau sur les toits pour apporter un meilleur confort thermique et plus de lumière à l'intérieur des bâtiments	29
Figure 4.1.3	Pratiques traditionnelles chinoises en termes d'orientation	31
Figure 4.1.4	La pression de l'urbanisation, que l'on retrouve dans beaucoup de pays en Asie	33
Figure 4.1.5	La maison mobile à Auroville, en Inde, pendant sa construction (gauche) et après (droite)	35
Figure 4.2.1	Isolation idéale, construction étanche et ventilation avec récupération de chaleur	36
Figure 4.3.1	La simulation de la lumière du jour sur différents types de conception de bâtiments facilite le processus de prise de décision	41
Figure 4.3.2	Un processus de conception intégré (Crédit: Larsson, 2009)	42
Figure 4.4.1	Une lame d'air utilisée en combinaison avec un mur isolé en bois/brique	48
Photo 4.5.1	Façade utilisée comme interface entre les environnements externe et interne de la maison	52
Photo 4.5.2	Une grande variété de façades souvent présente dans le tissu urbain, comme par exemple à Hong-Kong sur cette photo	53
Figure 4.5.3	Les diffusions de la lumière des différents types de verre et des combinaisons de vitrages	54
Figure 4.5.4	Système à double vitrage	54
Figure 4.5.5	Verre photochromique (à gauche) et verre transparent (à droite) dans un milieu à fort éclairage naturel	55
Figure 4.5.6	Dispositifs de protection solaire intégrés au motif traditionnel comme expression du design architectural pour le bâtiment du Ministère malaisien des Finances à Putrajaya, Malaisie	56
Figure 4.5.7	Fenêtre ouvrante à double vitrage	57
Figure 4.5.8	Bâtiment possédant une combinaison de façades complexes, situé au Newseum, Washington DC, USA	58
Figure 4.5.9	Application de la paroi solide en combinaison avec la ventilation naturelle et la pénétration de la lumière du jour pour une banque à la ville de Vinh Long, Vietnam	59
Figure 4.5.10	Faible VTTE de la façade du bâtiment rendue possible grâce à un ratio mur-à-fenêtre approprié, dispositifs de protection solaire suffisants parmi d'autres technologies pour les bâtiments situés dans les tropiques	60
Figure 4.5.11	Pénétration de la lumière du jour à travers un système de vitrage de façade à haute performance	61
Figure 4.5.12	La valeur basse du transfert thermique de l'enveloppe (VTTE) de la façade de l'édifice de la Bibliothèque Nationale de Singapour est rendue possible via le double vitrage, le ratio mur à fenêtre approprié et le nombre nécessaire de dispositifs de protection solaire	63
Figure 4.6.1	Étagère lumineuse, lucarne et conduit de lumière	64
Figure 4.6.2	L'intérieur réfléchissant est la touche finale apportée aux améliorations de la performance de l'éclairage naturel dans la station de Zuoying, ville de Kaohsiung, Taiwan	66

Figure 4.6.3	Stores réfléchissants installés dans un système de façade à double vitrage	66
Figure 4.6.4	Puits de lumière permettant la pénétration de la lumière du jour à l'intérieur du Terminal 3 de l'aéroport Changai, à Singapour	67
Figure 4.6.5	Étagère lumineuse, puits de lumière et conduit de lumière à Pusat Tenaga, bureau zéro énergie de la Malaisie	70
Figure 4.7.1	Schéma d'un système classique de refroidissement et de ventilation	72
Figure 4.7.2	Schéma d'un système classique de refroidissement et de ventilation à faible consommation énergétique	73
Figure 4.7.3	La ventilation par déplacement	73
Figure 4.8.1	Lampes économes en énergie	78
Figure 4.8.2	Comparaison des lampes couramment utilisées	78
Figure 4.8.3	Exemples de luminaires économes en énergie	80
Figure 4.8.4	Le contrôle de la zone permet à l'espace de la bibliothèque près de la fenêtre d'être éclairé par la lumière naturelle (à gauche), tandis que l'espace loin de la fenêtre est éclairé par des lampes LFC	81
Figure 4.9.1	L'utilisation de l'eau pluviale dans les bâtiments multi-étages	85
Figure 4.9.2	Diagramme de flux d'un système typique de réutilisation des eaux grises	86
Figure 4.9.3	Débit d'eau pour les robinets avec régulateur d'aération (à gauche) et pour robinets sans régulateur (à droite)	87
Figure 4.9.4	Toilette avec réservoir à double chasse	87
Figure 4.9.5	Lave-linge économique en eau à chargement frontal (gauche) et lave-linge classique à chargement par le haut (droite)	88
Figure 4.9.6	Système d'irrigation goutte à goutte	88
Figure 4.9.7	L'espace sur le toit doit être assez grand pour le réservoir d'eau et pour faciliter la maintenance	90
Figure 4.9.8	Aérateur fixé à l'intérieur d'un robinet comme moyen simple pour réaliser des économies d'eau	90
Figure 4.10.1	L'utilisation de matériaux de construction « puits de carbone »	95
Figure 4.10.2	Les conteneurs d'expédition peuvent également être réutilisés d'une manière adaptée dans les nouveaux bâtiments	96
Figure 4.10.3	Exemples de détail de construction en bois	96
Figure 4.10.4	Estimation des économies en émissions de carbone provenant de la substitution d'un mètre cube de bois par divers composants du bâtiment [par référence à Ruter (2011)]	98
Figure 4.11.1	Les systèmes de verdure intégrés au bâtiment	100
Figure 4.11.2	Types communs de façades/murs verts	101
Figure 4.11.3	Système modulaire de façade verte, intégré avec les technologies d'irrigation et d'auto drainage	102
Figure 4.11.4	Détail en coupe du jardin sur toit	103
Figure 4.11.5	Façade verte d'une structure de soutien visant à couvrir une pièce d'usine mécanique	104
Figure 4.11.6	Les jardins sur toit créent une vue, améliore la connectivité et augmente la verdure et l'espace ouvert à l'Institut de l'Éducation Technique, Singapour	105

Figure 4.11.7	La verdure comme partie intégrante de la conception du bâtiment, l'Université de management de Singapour, Singapour	106
Figure 4.11.8	Un effort pour promouvoir la biodiversité urbaine en fournissant des plantations en bandes, reliant la verdure sur le sol au jardin sur toit, le Solaris, à Singapour	108
Figure 4.11.9	Mur vert et toit de verdure comme une barrière végétale pour un développement résidentiel bordant une route très fréquentée	109
Figure 4.11.10	Le mur vert contribue à réduire la fluctuation de la température diurne de la façade du bâtiment	109
Figure 4.11.11	Jardin sur toit d'un quartier de logements publics dans le quartier de Punggol, Singapour	111
Figure 4.12.1	Chauffe-eau solaire thermique (gauche), panneau photovoltaïque (droite)	112
Figure 4.12.2	Les panneaux PV comme partie intégrante de la conception d'un bâtiment	113
Figure 4.12.3	PVIB: modules PV disposés en sandwich entre les panneaux de verre d'un puits de lumière au dessus d'un atrium	113
Figure 4.12.4	Diagramme d'une installation solaire domestique typique	114
Figure 4.12.5	Installation solaire thermique sur le toit d'un bâtiment	115
Figure 4.13.1	Éolienne à axe horizontal (EAH)	119
Figure 4.13.2	Intégration des micro-éoliennes dans le bâtiment dans un milieu urbain	121
Figure 4.14.1	Processus typique des Sociétés de Services Énergétiques	127
Figure 4.15.1	Label vert pour les appareils économes en énergie	134
Figure 4.16.1	Représentation schématique du chauffage/climatisation centralisé(e)	137
Figure 4.17.1	Moyens de transport durables à Nankang, Taiwan	143
Figure 4.17.2	Mécanismes de nettoyage naturel pour la gestion de l'eau pluviale	145
Figure 4.17.3	Le jardin communautaire offre des possibilités de création de liens au sein de la communauté, et fait partie de l'espace vert ouvert pour l'apaisement visuel, là où se trouvent de nombreux logements élevés à haute densité	145
Figure 5.3.1	Structure organisationnelle générique d'un groupe de travail sur les technologies et les pratiques d'atténuation	161

Préface

Les bâtiments sont responsables d'environ un tiers des émissions totales de gaz à effet de serre dans le monde, ce qui en fait le plus grand contributeur d'émissions de gaz à effet de serre (GES) au monde. Une personne passe en moyenne 90 pour cent de son temps à l'intérieur des bâtiments.

Le secteur du bâtiment fait donc face au défi de devoir limiter ses émissions de GES, tout en maintenant, voir même en améliorant, la qualité des services qu'il offre aux occupants des bâtiments. De plus, la contribution du secteur du bâtiment au PIB d'un pays est généralement de 5 à 15 pour cent en moyenne, et représente 5 à 10 pour cent des emplois au niveau national. Le fait d'atténuer les effets du changement climatique dans le secteur du bâtiment représente également des possibilités de développement de l'économie verte et de l'augmentation du nombre d'emplois « verts ».

Le secteur du bâtiment offre de vastes opportunités de réduction des émissions GES tout en renforçant le développement durable au plan national et international. Ce livret nous offre une description détaillée des technologies et des pratiques du secteur du bâtiment. Il vise à fournir les connaissances techniques nécessaires et de l'information aux pays pour que ceux-ci puissent réaliser des Évaluations des Besoins Technologiques et développer des Plans d'Action en matière de Technologie qui soutiennent l'atténuation des effets du changement climatique et le développement durable.

Cette publication fait partie d'une série de livrets techniques produite par le Centre PNUE de Risoe sur l'Énergie, le Climat et le Développement Durable (URC) dans le cadre d'un projet plus large sur l'Évaluation des Besoins Technologiques (EBT). Sa production fut coordonnée par le Dr Jorge Rogat, et fut réalisée par Dr Wynn Chi-Nguyen Cam, chercheur et architecte passionné par l'environnement bâti durable.

Jyoti Prasad Painuly

Chef de projet
Centre PNUE à Risoe

Mark Radka

Coordinateur de Programme sur l'Énergie
PNUE DTIE

Août 2011

Remerciements

Je voudrais tout d'abord remercier le Centre PNUE de Risoe et le Dr Jorge Rogat pour les efforts qu'ils ont fournis à la coordination de ce livret.

J'aimerais également remercier tous les experts et toutes les personnes qui ont contribué à cette publication, en particulier le Dr Chia-Chin Cheng qui a défini le processus de préparation du livret, M. Nils Larsson d'iisBE pour la contribution qu'il a apporté au niveau du processus de conception intégré, M. Jacob Halcomb du PNUE (Division de la Technologie, de l'Industrie et de l'Économie), deux réviseurs anonymes pour les commentaires et les suggestions très précieux qu'ils ont faits sur les versions brouillons de cette publication, et Mme Jessa Boanas-Dewes pour avoir corrigé le texte.

Wynn Chi-Nguyen Cam

Résumé

Faire face au changement climatique mondial nécessite des efforts concertés de la part de toutes les nations, à la fois développées et en développement. Ces efforts comprennent l'évaluation, la planification, et la mise en œuvre de manière rentable des technologies appropriées et des meilleures pratiques afin de pouvoir libérer le potentiel de l'atténuation et de l'adaptation dans tous les secteurs. Dans ce contexte, le Fonds pour l'Environnement Mondial (FEM) finance le programme d'Évaluation des Besoins Technologiques (EBT) qui est mené par le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) et le Centre PNUE à Risoe dans 36 pays en développement. L'EBT vise à étudier quelles sont les différentes technologies qui peuvent contribuer à atteindre les objectifs en matière d'atténuation et d'adaptation du changement climatique, puis à les hiérarchiser selon les priorités et plans au niveau national. Le but de ce livret est d'aider les pays qui participent au programme d'Évaluation des Besoins Technologiques dans le secteur du bâtiment. Sur la base de l'EBT, il sera alors ensuite possible de développer un Plan d'Actions en matière de Technologie (PAT) afin d'identifier les barrières à l'acquisition, au développement et à la diffusion des technologies prioritaires. Des actions pratiques peuvent être définies afin de contourner ces barrières et de tirer pleinement profit du potentiel du secteur du bâtiment.

Ce livret, ou guide, est principalement destiné aux équipes EBT nationales constituées d'une large variété de parties prenantes issues des institutions publiques, des ONG et du secteur privé, et qui comprennent des professionnels de l'industrie du bâtiment. Son objectif est de représenter une source d'information et de connaissances techniques sur l'atténuation au changement climatique dans le secteur du bâtiment qui soit pertinente pour ces parties prenantes, en particulier celles des régions et des pays où il est difficile d'avoir accès à de telles informations.

La responsabilité importante du secteur du bâtiment des émissions de gaz à effet de serre (GES) a largement été reconnue. Les raisons principales de cette responsabilité sont les suivantes: une utilisation importante d'énergie issue des combustibles fossiles dans les bâtiments pour assurer un certain confort thermique, l'éclairage, le chauffage de l'eau, le matériel et les appareils électriques, ainsi que la production de matériaux de construction.

Des solutions innovantes et intégrées, ainsi que des technologies durables pendant les phases de conception, de construction, d'exploitation et de démolition des bâtiments, sont nécessaires si l'on veut pouvoir atténuer les émissions de GES générées par le secteur du bâtiment. Le *hardware* doit fonctionner en harmonie avec le *software* et l'*orgware*. En terminologie EBT, le software fait référence aux processus associés à l'utilisation du hardware (le matériel) tels que les pratiques, les expériences, le savoir-faire. Le orgware réfère quant à lui au cadre institutionnel nécessaire au processus d'adoption et la diffusion d'une technologie nouvelle (JRC TNA Team, 2012).

Ce livret rassemble le hardware, le software et l'orgware dans un même cadre systématique. Ce cadre définit et structure les technologies et les pratiques pour l'atténuation des effets du changement climatique en partant de la plus facile et la plus faisable à la plus sophistiquée, dans le contexte des pays en développement. De plus, lorsque cela est possible, les technologies et pratiques individuelles sont examinées par rapport à la facilité de leur mise en œuvre dans différentes régions/pays et sous différentes

conditions climatiques. Grâce à cette structure, les typologies d'atténuation dans le secteur du bâtiment sont définies de manière claire et peuvent être clairement comprises de manière à faciliter leur exécution.

Au fil des ans, beaucoup de pays en développement ont également développé des capacités importantes dans le domaine des technologies et des pratiques de construction vertes; celles-ci peuvent être facilement transférables et applicables à des pays voisins ou à d'autres pays en développement (du fait de leurs similarités contextuelles) sans qu'elles aient besoin d'être modifiées ou presque. Il est donc très souhaitable qu'un processus de transfert de technologies et de pratiques du sud vers le sud ait lieu, comme cela sera décrit plus en détail dans ce livret.

Enfin, dernier élément mais non des moindres, la priorité est également donnée aux technologies qui touchent les applications intégrées, les technologies renouvelées ou les technologies indigènes innovatrices, ainsi que les technologies qui peuvent être mises en œuvre comme pratiques communautaires de constructions durables. Autant que possible, les technologies et les pratiques étudiées peuvent être appliquées aussi bien aux nouveaux bâtiments qu'à la rénovation de bâtiments existants. Elles sont également analysées selon ce qui est applicable ou non dans différentes localités du monde entier.

En résumé, ce livret a pour mission de permettre à ses lecteurs de mieux comprendre les technologies et les pratiques d'atténuation dans le secteur du bâtiment, condition essentielle pour pouvoir mener à bien les EBT et les PAT. Ces technologies et pratiques sont examinées en prenant plusieurs éléments en considérations: (1) la mise en place de politiques de soutien, (2) le renforcement des capacités (3) la facilité avec laquelle on peut créer la demande du marché et (4) la possibilité d'un transfert sud-sud. Ces conclusions forme l'épine dorsale pour entretenir un style de vie et des comportements durables de la part des occupants des bâtiments, par le biais de programmes éducatifs et de campagnes publics comme activités de sensibilisation. Suivre une telle approche systématique permettra au secteur du bâtiment de réaliser plus facilement son potentiel d'atténuation et d'améliorer l'environnement bâti où l'on vit, apprend, travaille et joue, dans le contexte particulier des pays en développement.

1. Introduction et Plan

1.1 Introduction

Importance du secteur du bâtiment

Les bâtiments sont la base de nos activités quotidiennes. Ils sont associés à tous les aspects du développement d'un pays, comme l'éducation, la santé, l'emploi, les services communautaires, les infrastructures et la communication.

Figure 1.1.1: Bâtiments associés au logement, à l'éducation, à l'emploi et au divertissement.



Nous passons la plupart de notre temps dans ou à proximité des bâtiments. Par exemple, les américains passent en moyenne 90% de leur temps à l'intérieur (US EPA, 2009). Par conséquent, les bâtiments influent grandement sur tous les aspects de notre vie: sociaux, économiques et environnementaux.

L'aspect social: les bâtiments affectent la santé de leurs occupants, leur qualité de vie et, dans une certaine mesure, influencent leurs perceptions et leurs interactions avec l'environnement naturel alentour. Dans plusieurs pays en développement, la mauvaise qualité de l'air dans les bâtiments, due à la combustion de la biomasse, et leur mauvaise ventilation est à l'origine de sérieuses maladies comme la pneumonie ou la tuberculose, et de morts prématurées (UNEP, 2011). Au niveau macroscopique, un groupement de bâtiments définit un voisinage et a une influence sur le taux de criminalité, les activités sociales et le développement de la communauté.

L'aspect économique: le secteur du bâtiment s'est développé durant les dernières décennies pour répondre à la demande de l'expansion de la population, de l'exode rural et du développement économique. Il contribue généralement à 5-15% du PIB d'un pays, et est la source de 5 à 10% des emplois au niveau national (UNEP SBCI, 2007). Au niveau micro, une bonne conception des bâtiments et une bonne qualité de l'environnement intérieur contribueraient à une meilleure productivité. En termes purement économiques, les retours sur investissements peuvent être récupérés bien plus rapidement grâce à une meilleure productivité des ouvriers qu'à partir d'économies d'énergie seules.

L'aspect environnemental: le secteur du bâtiment est le plus grand responsable d'émissions de gaz à effet de serre (UNEP, 2011) et on estime qu'il est à l'origine d'un tiers des allergies dues aux émissions de CO₂ (Price et al., 2006). Il consomme beaucoup de matériaux, et c'est lui qui utilise le plus de ressources naturelles à travers le monde. Les bâtiments, au travers de l'urbanisation et de l'étalement urbain, mènent à leur perte les terres productives et la biodiversité. Les déchets, solides ou liquides, issus du secteur du bâtiment polluent et affectent la santé publique dans plusieurs régions.

Atténuation dans le secteur du bâtiment: potentiel et défis

En tant que principal responsable des émissions de gaz à effet de serre (GES), le secteur du bâtiment se présente aussi comme le secteur ayant « le plus gros potentiel pour réduire efficacement, de manière rentable et sur le long terme, les émissions de gaz à effet de serre » (UNEP SBCI, 2009). On estime que, d'ici 2050, la consommation d'énergie dans le bâtiment peut être réduite de 60%, si une action est menée dès maintenant. La quantité d'énergie économisée est équivalente à la consommation totale d'énergie utilisée à la fois par le secteur du transport et de l'industrie en 2009 (WBCSD, 2009)

Beaucoup d'obstacles empêchent de réaliser ce potentiel. D'après les estimations du GIEC (Groupe Intergouvernemental sur le Changement du Climat), le nombre de barrières dans le secteur de la construction est plus élevé que dans n'importe quel autre secteur (Levine et al., 2007). Ce guide identifie et classe les principaux obstacles en 4 groupes:

1. Manque de sensibilisation et faible accès aux connaissances techniques
2. Segmentation et fragmentation du secteur de la construction
3. Mesures financières de dissuasion
4. Comportement consumériste et effet rebond

Ce livret, ou guide, aborde le premier groupe d'obstacles et met en avant des propositions pour les 2^{ème}, 3^{ème} et 4^{ème} groupes. Arriver à surmonter les barrières du premier groupe dans les pays en développement est le premier pas fondamental en vue de réaliser ce potentiel d'atténuation dans le secteur du bâtiment.

Réaliser le potentiel d'atténuation dans le contexte de développement durable

Jonas et Gibbs (2009) observent que « le contrôle du carbone semble introduire un nouveau ensemble de valeurs dans la réglementation des états et cela pourrait ouvrir la porte à de nouvelles propositions pour faire face au mode actuel d'urbanisation et de développement rural qui ne peuvent pas correspondre à la conception du développement durable. » Sans les enjeux globaux du développement durable, l'atténuation du changement climatique perdrait ses fervents défenseurs et partisans sur le long terme (Cam,2011).

Dans le secteur du bâtiment, l'approche de l'atténuation des effets du changement climatique doit être en harmonie avec le contexte plus vaste du développement durable. Pour cette raison, les technologies et pratiques d'atténuation abordées dans les chapitres 3 et 4 mettent en avant les opportunités qu'elles offrent, notamment concernant la consolidation de l'impact du secteur de la construction sur le développement social et économique.

Transformer les difficultés en opportunités

Ce livret a pour but de transformer les difficultés auxquelles le changement climatique nous confronte en opportunités pour le secteur du bâtiment, en particulier dans les pays en développement. Il le fait en présentant et structurant les technologies et les pratiques d'atténuation de manière à ce qu'elles soient en accord avec les objectifs du développement durable. Leurs approches et leurs stratégies s'étendent au-delà de la technicité, et cela dans le but de maximiser les relations réciproques avec les aspects sociaux et économiques, et d'améliorer la qualité de vie.

Ainsi, au lieu d'être vues comme des exigences annexes aux pratiques commerciales habituelles, les pratiques et les technologies d'atténuation sont considérées comme des opportunités pour favoriser le développement durable dans les zones en développement, comme les pays, les régions, les villes ou les communautés. En d'autres termes, mettre en place les technologies et les actions d'atténuation devrait être aussi important que de renforcer le développement économique et social.

1.2 Plan du livret

Le chapitre 2 résume les résultats principaux concernant la contribution du secteur du bâtiment aux émissions de GES. Le principal acteur des émissions mondiales de GES a été identifié par plusieurs organisations internationales comme étant l'utilisation extensive de l'énergie issue de combustibles fossiles dans le bâtiment, pour le confort thermique, l'éclairage, le chauffage de l'eau, les équipements électriques ainsi que dans la production des matériaux de construction. Néanmoins, les émissions de GES varient en fonction du niveau de développement des pays, des types de bâtiments, du nombre de nouveaux bâtiments comparés à ceux déjà existants, et du stade du cycle de vie du bâtiment. Les conclusions d'études concernant les barrières à l'atténuation dans le secteur du bâtiment y sont également résumées.

Le chapitre 3 définit et structure les technologies et les pratiques qui peuvent être perçues comme solutions pour atténuer les GES, depuis la plus simple jusqu'à la plus complexe, en portant attention sur les contextes des pays en développement. En utilisant cette structure, les typologies d'atténuation peuvent être encadrées et accompagnées d'une clarté opérationnelle. Le cadre consiste en un prérequis et neuf typologies générales. Chaque typologie comprend un nombre de technologies et pratiques pertinentes. Les typologies sont les suivantes:

Prérequis:	Conception solaire passive
Typologie 1:	Conception solaire passive avancée
Typologie 2:	Technologies qui améliorent les performances des conceptions solaires passives
Typologie 3:	Conception active
Typologie 4:	Puits de carbone
Typologie 5:	Création d'énergies renouvelables sur place
Typologie 6:	Suivi et retour d'information des occupants
Typologie 7:	Au-delà des bâtiments individuels

Le chapitre 4 nous apporte des analyses détaillées des technologies et pratiques individuelles correspondant à chacune des sept typologies. L'étude détaillée de chaque technologie et pratique d'atténuation comprend deux éléments: des informations générales et une analyse détaillée. Les informations générales incluent:

1. Définition, description et caractéristiques
2. Stade de développement en terme de statut actuel (prouvé ou en test) et améliorations potentielles grâce à la recherche et au développement
3. Prérequis contextuels pour la mise en pratique (climatique et spatiale)

L'analyse détaillée comprend:

1. L'état d'avancement de la mise en œuvre en termes de pénétration du marché et de potentiel dans les marchés des différentes régions/pays
2. La faisabilité de la mise en pratique, en termes d'exigences pour certaines institutions/organisations et de capacité
3. Contribution au développement social, économique et environnemental dans différentes régions/pays
4. Besoins financiers et coûts (par ex. coût de l'investissement, de la maintenance et coût opérationnels, etc.) lorsque l'information est accessible
5. Études de cas portant sur plusieurs régions/pays, traitant d'exemples exemplaires et des possibilités de transfert d'information sud-sud.

Le chapitre 5, basé sur les analyses détaillées du chapitre 4, fait des recommandations pour la mise en place des technologies et des pratiques d'atténuation. Ces recommandations comprennent:

1. Des lignes directrices pour prioriser les technologies et les pratiques d'atténuation au niveau national
2. Les stratégies, les parties prenantes et les paramètres à prendre en compte pour mettre en pratique ces technologies et pratiques
3. Étapes pour mettre en œuvre, faire adopter, transférer les connaissances et développer les technologies et les pratiques.

Même si ces recommandations sont examinées sous formes de principes, il faut mettre en avant le fait qu'il existe un réel besoin de comprendre et de contextualiser la hiérarchisation et la mise en œuvre si l'on veut qu'elles s'adaptent aux pays ou aux conditions locales. Ces conditions comprennent les caractéristiques géographiques; la situation du développement économique; la situation et les tendances de l'urbanisation; la qualité des bâtiments actuels; la vigueur de l'industrie de la construction et des industries apparentés; la disponibilité de la main d'œuvre existante et des experts; les normes sociales et comportementales; et les technologies et pratiques indigènes ayant un potentiel d'atténuation.

Le chapitre 6 souligne que les technologies et pratiques d'atténuation doivent être appliquées correctement. Elles doivent prendre en compte le contexte du pays et être en adéquation avec les autres stratégies de développement durable. Le but est de surmonter les barrières qui freinent le potentiel d'atténuation dans le secteur du bâtiment et de faire des typologies d'atténuation un élément du développement durable du pays.

Des sources d'information supplémentaires sur chaque technologie et pratique (décrites dans le chapitre 5) sont disponibles dans l'annexe III. On y trouve des listes de fournisseurs de ces technologies et d'organisations mondiales/régionales/nationales qui pourvoient l'expertise dans ces domaines. Ces listes ne servent que d'exemples et ne représentent qu'un point de départ pour les contributions publiques à des sources d'informations plus complètes et mises à jour comme Climate Techwiki, une plateforme en ligne créée par le PNUC et le PNUD sur l'atténuation et les technologies d'adaptations du changement climatique.

Dans un contexte de prévisions de croissance des émissions de GES provenant du secteur du bâtiment dans les pays en développement, la mise en place d'Évaluations des Besoins Technologiques (EBT) et le développement de Plans d'Actions en matière de Technologie (PAT) sont des manières opportunes et notables de répondre à cette tendance. Ce livret a pour but de contribuer à ces efforts de manière significative, c.à.d., supporter le secteur du bâtiment pour réduire les émissions de GES tout en contribuant à une meilleure qualité de vie, à une croissance économique, à la création d'emplois et au développement communautaire durable.

2. Résumé des principales conclusions sur la contribution du secteur de la construction dans les émissions de GES

2.1 Situation et tendances à l'échelle mondiale

Statistiques mondiales

Le Quatrième rapport d'évaluation du GIEC, le Rapport Stern sur l'Économie du Changement Climatique, et la Commission Européenne (2007) indiquent les objectifs à atteindre pour que la température terrestre reste à 2°C au-dessus du niveau de l'époque préindustrielle, de manière à potentiellement éviter les pires conséquences du changement climatique. Pour atteindre ces objectifs, le niveau maximum des émissions va devoir être atteint d'ici 2015-2020, puis les émissions vont devoir diminuer rapidement jusqu'en 2050 et au-delà. Ce qui se traduit par une réduction des émissions d'au moins 50% par rapport au niveau de 1990, c'est à dire d'environ 40Gt de CO₂e par an à 20Gt de CO₂e par an.

Dans le secteur du bâtiment, les énergies fossiles consommées par les chantiers et les bâtiments sont les grands responsables d'émissions de GES. Le secteur de la construction compte pour environ un tiers des émissions mondiales de GES en consommant plus de 40% de l'énergie totale (Levine et al.,2007). Cela correspond à environ 8,6 millions de tonnes métriques de CO₂e en 2004, d'après le GIEC. L'Agence Internationale de l'Énergie (AIE) et l'Organisation de Coopération et de Développement Économique (OCDE) prévoient qu'en 2050, la demande énergétique du secteur de la construction augmentera de 60%, ce qui est une prévision bien plus pessimiste que ce qui est prévu pour le secteur du transport ou le secteur industriel (IEA & OECD, 2010).

Le GIEC identifie les sources principales d'émissions de GES associées aux bâtiments comme provenant du chauffage, de la climatisation, du chauffage de l'eau, de l'éclairage artificiel et de l'utilisation d'appareils. De plus, les bâtiments, à cause des matériaux isolants et réfrigérants, sont aussi responsables d'émissions de GES hors CO₂, comme les halos carbures (CFC et HCFC) et les hydro-fluocarbures (HFC). Ces gaz contribuent à hauteur de 15% des 8,6 tonnes métriques de CO₂e, et leur niveau d'émission prévisionnel reste constant jusqu'en 2015 puis diminue (Levine et al.,2007) une fois que les politiques du Protocole de Montréal entrent en vigueur. Le rapport de du PNUE sur les HFC déclare que « les émissions de HFC et leur abondance atmosphérique augmentent rapidement. Si rien n'est fait, les émissions de HFC futures (disons d'ici 2050) pourraient contrebalancer la plupart des bienfaits climatiques obtenus grâce au Protocole de Montréal » (UNEP, 2011a).

Malgré les débats, la plupart des études sur la contribution du secteur du bâtiment dans les émissions de GES ont porté leur attention sur les émissions provenant de la consommation énergétique dans le secteur. En effet, 45% de la consommation totale des énergies utilisées dans la construction proviennent des pays membres de l'OCDE, 10% proviennent des économies en transition et le reste provient des pays en développement (Levine et al.,2007).

D'après le scénario de forte croissance fourni par le GIEC, on estime que les émissions totales de GES du secteur de la construction vont presque doubler pour atteindre 15,6 milliards de tonnes métriques de CO₂e d'ici 2030. En fait, de 1999 à 2004, les émissions de GES provenant de la consommation énergétique dans le secteur du bâtiment ont augmentées de 2,7% par an en moyenne.

Écarts attribuables aux différents niveaux de développement

On observe que les émissions de GES des bâtiments et le niveau de développement économique d'un pays sont en corrélation. Par exemple, le GIEC déclare que, de 1971 à 2004, la plus grosse augmentation régionale d'émissions de CO₂ provenait des pays en développement de l'Asie, dont 42% de bâtiments résidentiels et 30% de bâtiments commerciaux (Levine et al.,2007).

Historiquement, l'Amérique du Nord, l'Europe de l'ouest, le Caucase et l'Asie Centrale étaient les principaux responsables des émissions de GES. Cependant, d'après le scénario de forte croissance du GIEC, les émissions totales provenant des pays en développement vont surpasser ces régions d'ici 2030 (UNEP SBCI, 2009). Entre 2004 et 2030, les émissions de GES vont augmenter dans les pays et les économies en développement comme l'Asie, le Moyen-Orient, l'Afrique du Nord, l'Amérique Latine et l'Afrique Subsaharienne, dans cet ordre (Levine et al.,2007). La raison principale est qu'on prévoit que les pays en développement vont augmenter la population mondiale de 2,3 milliards dans les quarante prochaines années (UN DESA, 2009), et les augmentations de population stimulent l'urbanisation. Une étude de la Banque Mondiale montre qu'une augmentation de la population urbaine de 1% entraîne une augmentation de 2,2% en consommation d'énergie (WBCSD, 2008).

De plus, ces pays sont témoins d'une croissance économique très rapide, qui se cumule à la pression d'une urbanisation rapide. Ces pays requièrent beaucoup de bâtiments pour répondre au besoin des logements et aussi d'autres bâtiments commerciaux pour gérer les activités sociales et économiques entre autre. Par exemple, le Conseil Mondial des Affaires pour le Développement Durable (WBCSD) estime que la Chine va potentiellement construire jusqu'à deux fois plus de bureaux qu'il n'y a déjà aux États-Unis, en seulement 20 ans à partir de 2000 (WBXSD, 2009).

La demande de bâtiments, l'urbanisation et l'augmentation des revenus des foyers sont les principaux facteurs qui accroissent la demande et la consommation énergétique dans les bâtiments, ce qui mène à plus d'émissions de GES. Récemment, en Inde et en Chine, une augmentation de l'utilisation des énergies commerciales, comme le GPL, le kérosène et l'électricité, a été perçue au détriment des formes traditionnelles d'énergie comme la biomasse, les déchets agricoles et les fumiers. Au fur et à mesure que l'économie et les infrastructures se développent, l'électricité et le gaz deviennent plus accessibles, particulièrement dans les zones qui étaient autrefois rurales. Cette accessibilité stimule l'envie de posséder des appareils électriques, ce qui augmente la demande en énergie. Ce cercle vicieux est renforcé par le fait que les foyers peuvent se permettre ces dépenses maintenant que leurs revenus augmentent (UNEP SBCI, 2009).

2.2 Comprendre les émissions de GES à l'échelle d'un bâtiment

Différences attribuables aux types de bâtiments

La majorité des études et des rapports sur les émissions de GES du secteur du bâtiment classent les bâtiments en 2 catégories générales: les bâtiments résidentiels et les bâtiments commerciaux. Alors que le terme bâtiments résidentiels définit bien le type de construction dont il est question, les bâtiments commerciaux font référence à tous les édifices qui ne sont pas résidentiels, comme les bâtiments publics, les bureaux, les bâtiments municipaux, les bâtiments abritant le secteur tertiaire, etc. C'est la définition utilisée dans ce livret.

Des bâtiments de différents types ont des consommations d'énergie différentes donc des contributions aux émissions de GES différentes. En règle générale, les bâtiments résidentiels ont la plus grosse part de la consommation d'énergie totale. Par exemple, en Afrique subsaharienne, les bâtiments résidentiels comptent pour 96% de la consommation énergétique totale du secteur du bâtiment (Earth Trends, 2005). En Europe, c'est 76% de la consommation totale (Earth Trends, 2005). En termes de taux d'émissions, de 1971 à 2004, on estime que les émissions des bâtiments commerciaux ont connu une croissance de 2,5% par an, alors que les bâtiments résidentiels ont connu une croissance de 1,7% par an (Levine et al., 2007).

Émissions aux différentes étapes de la vie d'un bâtiment

Les émissions de GES du secteur du bâtiment sont dues à la consommation d'énergies fossiles lors de plusieurs activités ayant lieu à différentes étapes de la vie d'un bâtiment. L'UNEP SBCI (2007), en citant Jones (1998), identifie ces différentes consommations d'énergies lors de cinq activités particulières, comme expliqué ci-dessous:

La fabrication et le traitement de matériaux de construction nécessitent de l'énergie, notamment pour extraire les matières premières. Cette énergie est appelée énergie intrinsèque. Les matériaux avec beaucoup d'énergie intrinsèque sont ceux qui ont besoin de beaucoup de transformation. Le béton, l'aluminium, l'acier et le plastique font partie de ces matériaux qui ont une grande énergie intrinsèque.

Le transport des matériaux de construction depuis les sites d'extraction/production jusqu'aux bâtiments, qui, dans certains cas, peut demander beaucoup d'énergie, comme les transports internationaux par bateau d'énormes quantités de métaux lourds. Cette énergie est appelée énergie grise.

Figure 2.2.1: Énergie utilisée pour les transports liés à la construction



La construction du bâtiment, pendant laquelle l'énergie est utilisée pour faire tourner les engins de constructions et les autres activités sur le site. Cette énergie est appelée énergie induite.

Figure 2.2.2: Énergie utilisée pour les engins de constructions



L'exploitation du bâtiment, pendant laquelle l'énergie est utilisée pour plusieurs buts, tels que le chauffage, la ventilation et l'air conditionné, le chauffage de l'eau, l'éclairage et les appareils électriques. Cette énergie est appelée énergie de fonctionnement.

Figure 2.2.3: Énergie (de fonctionnement) utilisée pendant l'étape d'exploitation du bâtiment (Hong Kong)



La destruction du bâtiment, pendant laquelle l'énergie est utilisée pour les engins de démolition, le transport des déchets et le recyclage des matériaux (lorsque c'est possible). Cette énergie est appelée énergie de démolition-recyclage.

Figure 2.2.4: Démolition d'un bâtiment



Figure 2.2.5: Tri des matériaux pour le recyclage



En général, parmi les cinq types de consommations décrites ci-dessus, l'énergie de fonctionnement représente la plus grande part de consommation dans le cycle de vie d'un bâtiment. En termes d'émissions de GES, le fonctionnement du bâtiment compte en général pour 80% des émissions totales du cycle de vie (UNEP SBCI, 2009). Le reste du cycle, c'est-à-dire la fabrication des matériaux, le transport, la construction et la démolition, ne représentent qu'un petit pourcentage des émissions de GES. Par conséquent, réduire la consommation en énergie pendant la phase de fonctionnement est crucial pour réduire les émissions de GES du secteur du bâtiment.

Nouveaux bâtiments et bâtiments existants

En général, il est plus efficace d'intégrer des technologies et des mesures d'économies d'énergies aux premières étapes de la construction d'un bâtiment plutôt que de moderniser ces bâtiments plus tard pour les rendre moins consommateurs. Néanmoins, une grande quantité d'émissions de GES est due au mauvais fonctionnement des bâtiments existants et leur nombre est déjà élevé, particulièrement dans les pays développés. Donc, dans le but de réduire efficacement les émissions du secteur en peu de temps, moderniser les bâtiments pour les rendre plus économes en énergie est important.

Figure 2.2.6: Des bâtiments existants en bonne condition peuvent être une bonne occasion de lancer des rénovations qui consistent à rendre les bâtiments plus économes en énergie (Ville de Nottingham)



Comparé aux bâtiments existants, les nouveaux bâtiments offrent une grande flexibilité et des opportunités pour mettre en place des mesures d'économies d'énergies dès le début. Par exemple, en Amérique, les nouveaux bâtiments résidentiels peuvent être 30% plus économes que les bâtiments existants (Pew Center on Global Climate Change, 2009). Dans les pays en développement, il y a un vrai potentiel de création de bâtiments économes en énergie car beaucoup de nouveaux édifices doivent être construits rapidement dans le but de répondre à une croissance de plus de 500 millions de personnes (UNEP, 2011). Cela présente une opportunité colossale pour investir dans des mesures et des technologies d'économies d'énergie qui peuvent être intégrées aux bâtiments dès leur construction.

Figure 2.2.7: Demande en nouveaux immeubles dans les pays en développement (Vietnam)



Néanmoins, certaines grandes villes des pays en développement présentent des opportunités pour modifier les bâtiments existant et les rendre plus économes en énergie. Par exemple, en Inde, on estime que modifier les bâtiments commerciaux en utilisant de nouvelles technologies peu consommatrices en énergie permettrait une réduction d'énergie de 25% (UNEP SBCI, 2010).

2.3 Comprendre les obstacles auxquels fait face l'atténuation des GES

Étant le plus grand contributeur d'émissions de GES, le secteur du bâtiment présente « le plus gros potentiel pour réduire de manière efficace, significative et sur le long terme les émissions de gaz à effet de serre » (UNEP SBCI, 2009). Cependant, il doit faire face à beaucoup d'obstacles. Une relecture des études existantes montre qu'il y a plusieurs obstacles clés. Ce livret regroupe ces obstacles dans les quatre catégories suivantes:

Faible prise de conscience et accès limité aux connaissances techniques

La première catégorie d'obstacles est très répandue dans les pays en développement où l'importance des émissions de GES et la faible consommation énergétique des bâtiments n'est pas une priorité comparé à d'autres problèmes urgents comme l'éradication de la pauvreté, l'amélioration de la santé publique et la réduction du taux de criminalité. Il en découle que les avantages des constructions de bâtiments à faible consommation énergétique ne sont souvent pas reconnus. Ainsi, le fait d'acquérir les connaissances techniques adéquates, y compris les technologies à bas coût qui sont néanmoins efficaces, et les bonnes pratiques, est négligé.

Il est aussi difficile d'avoir accès aux connaissances et aux technologies dans beaucoup de zones rurales de pays en développement, ceci du au manque de moyens de communication. Dans les zones urbaines, la plupart des occupants des bâtiments ne sont pas au courant du potentiel énergétique que leur bâtiment possède, à cause l'absence de mesures quantitatives des performances énergétiques dudit bâtiment.

Segmentation et fragmentation du secteur du bâtiment

Ce deuxième groupe d'obstacles reflète la nature même du secteur du bâtiment comme suit:

1. Le potentiel de réduction est réparti en plusieurs petites opportunités, au travers de millions de bâtiments individuels (UNEP & CEU, 2007). Ces petites économies faites à partir des bâtiments déjà construits - qui peuvent réduire drastiquement les émissions - nécessitent la participation d'un grand nombre de propriétaires et d'autres acteurs. C'est là où se trouve la difficulté.
2. Aux différentes étapes du cycle de vie d'un bâtiment, plusieurs acteurs sont concernés, comme les promoteurs immobiliers, les chefs de projets, les architectes, les ingénieurs en génie civil, électricité et mécanique, les directeurs d'établissements, les propriétaires, les locataires, les sous-locataires etc. Chacun de ces groupes joue un rôle différent, et ont une responsabilité et une manière bien différente de traiter les choses. Chacune de leurs décisions a un impact sur le niveau d'émissions du bâtiment. Cependant, les opportunités pour coordonner les acteurs sont limitées, et elles demandent beaucoup de temps et de ressources (UNEP SBCI, 2009).

Mesures financières de dissuasion

Le troisième groupe d'obstacles se rapporte aux mesures financières de dissuasion auxquelles font face les investissements concernant les mesures et les technologies économes en énergies. UNEP & CEU (2007) met en avant ce qui suit:

1. **De tels investissements sont perçus comme étant coûteux et risqués.** Plus important encore, il y a un manque de sensibilisation à propos des mesures et des technologies économes en énergie. Ceci est dû aux idées reçues qui prétendent que ces pratiques sont chères en raison des hautes technologies impliquées. En réalité, il y a des solutions très bon marché qui sont aussi efficaces, si ce n'est plus, que des technologies hors de prix, comme nous l'expliqueront dans les deux prochains chapitres.
2. **Les intérêts économiques sont partagés parmi les acteurs.** C'est-à-dire que, par exemple, les personnes qui payent pour utiliser l'énergie n'ont pas la possibilité de prendre des décisions sur comment mettre en place des technologies et des mesures économes en énergie. En Amérique, 90% des nouveaux acheteurs de maisons obtiennent leurs cuisines et leurs machines à laver via les constructeurs (Pew Center on Global Climate Change, 2009). Cependant, le constructeur ne va pas forcément installer les plus économes en énergie car l'acheteur n'est peut-être pas prêt à payer plus cher pour avoir des appareils économes en énergie.

En outre, les propriétaires et les locataires ne sont pas toujours rationnels lorsqu'il s'agit d'investir dans des mesures et des technologies économes en énergies. Ils peuvent utiliser de simples outils de retour-sur-investissement pour calculer les périodes de remboursement, sans faire attention à l'évolution des prix des énergies fossiles. Ils sont prêts à prendre des risques pour réduire directement les coûts au lieu de prendre des décisions économiques qui ont un impact sur le long terme. En conséquence, les décisions sont souvent prises avec des préjugés et reflètent une réticence à investir dans des mesures et des technologies économes en énergie, en raison de contraintes de temps ou de ressources.

Consumérisme, aspirations et effet rebond

Dans les pays en développement, particulièrement ceux dont l'économie est en pleine transition, l'accroissement des revenus et des plus-values a fait augmenter le consumérisme. La conservation des

ressources est souvent vue comme « la pratique du pauvre », et les comportements gaspilleurs sont perçus comme étant symboliquement une marque de succès. Une telle vision des choses altère les efforts mis en place pour réduire les émissions de GES dans le secteur du bâtiment.

Investir dans les mesures et les technologies économes en énergie ne garantit pas forcément une réduction des émissions de GES liées aux bâtiments. Une des raisons pour laquelle c'est le cas est l'effet rebond au travers des comportements des occupants. Cela fait référence à l'augmentation du taux d'utilisation des technologies, des équipements et des appareils économes en énergies, ceci du à leur prix attrayant. En retour, cela encourage les occupants/utilisateurs à acheter plus d'appareils, et à trop les utiliser, jusqu'à ce qu'ils ne soient plus aussi efficaces et qu'ils perdent leur intérêt en terme d'économies d'énergie. Certaines études estiment qu'en Amérique, 10% à 40% des économies obtenues par les chauffe-eaux peuvent être érodées à cause d'une sur-utilisation du chauffe-eau (Pew Center on Global Change, 2009).

Aller de l'avant

Les chapitres suivants visent à aborder les problèmes soulevés par le premier groupe d'obstacle, en tenant compte des deuxième, troisième et quatrième groupes. Cette approche sert de base pour matérialiser le potentiel d'atténuation du secteur du bâtiment dans les pays en développement.

3. Définition et typologies des atténuations

3.1 Définition de l'atténuation dans le secteur du bâtiment

Technologies et pratiques d'atténuation

Tout le monde sait que les énergies fossiles consommées par le secteur du bâtiment (pour l'exploitation des bâtiments et la construction de nouveaux) est la principale source d'émission de GES. Le Quatrième Rapport d'Évaluation Intergouvernemental du GIEC identifie les principales sources d'émissions de GES associés aux bâtiments comme suit: chauffage d'une pièce, climatisation d'une pièce, chauffage de l'eau, éclairage artificiel et l'utilisation d'appareils (Levine et al. 2007). Le rapport identifie aussi trois catégories de mesures pour réduire les émissions de GES des bâtiments qui sont:

1. Réduire la consommation d'énergie des bâtiments et leur énergie intrinsèque
2. Utiliser plus d'énergies à faibles émissions de carbone, et favoriser une plus grande part d'énergie renouvelable
3. Contrôler les émissions de GES autres que le CO₂ (Levine et al.,2007)

En plus de ce qui est cité ci-dessus, d'autres mesures pour atténuer les effets du changement climatique incluent la création d'opportunités dans le secteur du bâtiment pour:

1. Séquestrer le carbone, soit statiquement en utilisant des matériaux spéciaux dans les bâtiments, soit en continue via l'insertion de plantes vertes dans les bâtiments et sur les chantiers
2. Promouvoir des comportements durables grâce aux habitants et aux acteurs

Dans ce contexte, les méthodes d'atténuations dans le secteur du bâtiment reviennent à déployer et à concevoir des stratégies, des technologies et des pratiques qui:

1. Réduisent la demande et la consommation d'énergie associées aux bâtiments - de la conception, la construction, la cession, à la rénovation et à la fin de vie
2. S'orientent vers des énergies à faibles émissions de carbone
3. Maximisent les opportunités des bâtiments pour séquestrer le carbone
4. Favorisent les changements de comportements pour atteindre un style de vie durable

Approche systématique

Les stratégies de conception, les technologies et les pratiques constituent le *hardware*, le matériel. Les utilisations de ces supports matériels, y compris les pratiques, l'expérience et le savoir-faire constituent le *software*. La faisabilité de la mise en œuvre et de la diffusion des nouvelles technologies, y compris mener des politiques de soutien et renforcer les capacités de la main d'œuvre, constituent l'*orgware*. Pour être efficace au niveau de l'atténuation à grande échelle des émissions de GES, tous les hardwares, softwares et orgwares devraient être développés dans un cadre de travail précis qui définit et classe les technologies d'atténuation depuis la plus faisable jusqu'à la plus sophistiquée des typologies.

L'intégration systématique des hardwares, softwares et orgwares, forme ensuite une structure pour entretenir le *heartware*, qui lui fait référence au mode de vie et au comportement durable des occupants des bâtiments, via des programmes éducatifs, des campagnes de sensibilisation publiques, ainsi de suite... Une approche systématique comme celle-ci positionnera mieux le secteur du bâtiment pour qu'il atteigne son potentiel d'atténuation, et pour que le cadre de vie et de travail des occupants soit amélioré, particulièrement dans les pays en développement.

Définir les typologies d'atténuation

En utilisant l'approche systématique et les objectifs cités ci-dessus, les typologies d'atténuation dans le secteur du bâtiment peuvent être définies avec une clarté opérationnelle. C'est particulièrement utile dans les pays en développement, où une EBT (Évaluation des Besoins Technologiques) peut être effectuée pour identifier les typologies d'atténuation les plus efficaces en termes de convenance socio-économique, contextuelle et temporelle.

En détail, le cadre de travail consiste en huit typologies d'atténuation générales comme suit:

1. Conception solaire passive
2. Conception solaire passive avancée
3. Technologies d'amélioration des performances des conceptions solaires passives
4. Conceptions actives
5. Séquestration du carbone
6. Production d'énergies renouvelable sur place
7. Suivi et retour d'information des occupants
8. Au-delà des bâtiments individuels

Les pratiques et techniques d'atténuation dans les huit typologies, en fonction de leurs natures, peuvent être déployées et mise en place dans les nouveaux bâtiments et les bâtiments en travaux.

La typologie d'atténuation des conceptions solaires passives est applicable aux nouveaux bâtiments, et devrait être prise en considération dès le début de la construction. Les stratégies de conceptions sont les principes de base, pour fournir un confort thermique par exemple, aux occupants du bâtiment, d'une manière économe en énergie. Il n'y a pas besoin d'utiliser d'équipement mécanique, elles sont donc plus facile à mettre en place, et n'engendre en général pas de coût additionnel. Par conséquent, la typologie d'atténuation des conceptions solaires passives doit être considérée comme un prérequis pour tous les nouveaux bâtiments. La typologie d'atténuation des conceptions solaires passives sera décrite plus en détail dans la section 3.2 et les technologies et pratiques des autres typologies d'atténuation seront étudiées dans le chapitre 4.

Le tableau 3.1.1 montre une vision globale des technologies et pratiques de chaque typologie d'atténuation.

Tableau 3.1.1 Technologies et pratiques de chaque typologie d'atténuation

No.	Typologie d'atténuation	Technologies et pratiques
Prérequis	Conception solaire passive	Sélection du lieu
		Conception sensible au soleil
		Conception sensible au vent
		Utilisation de matériaux thermiques
1	Conception solaire passive avancée	Rénovation et utilisation innovante des techniques et des matériaux traditionnels dans la construction des bâtiments
		Conception et technologie des maisons passives
2	Technologies d'amélioration des performances des conceptions solaires passives	Cycle de vie et processus de conception intégré
		Isolation thermique des bâtiments
		Système de façade haute performance
		Technologie de capture de lumière naturelle
3	Conception active	Systèmes de ventilation, air conditionné et chauffage hautement efficace
		Système d'éclairage efficace
		Technologies d'optimisation de l'utilisation de l'eau
4	Séquestration du carbone	Matériaux à faible coût en carbone et permettant de le séquestrer
5	Production d'énergies renouvelables sur place	Technologies solaires
		Éoliennes intégrées aux bâtiments
6	Suivi et retour d'information des occupants	Amélioration des performances et gestion de l'énergie
		Catalyseurs de changement de comportement
7	Au-delà des bâtiments individuels	Services énergétiques basés sur la communauté
		Conception et pratiques pour des communautés durables

3.2 Conception solaire passive – le prérequis pour les nouveaux bâtiments

La conception solaire passive prend en compte les stratégies qui permettent au bâtiment d'être en adéquation avec les conditions géographiques et bioclimatiques du lieu de construction et de son environnement immédiat. Les objectifs sont de réduire la demande en énergie pour le confort thermique, l'éclairage artificiel et les autres performances du bâtiment. Les stratégies de conception solaire passive sont souvent associées aux lotissements de bâtiments peu élevés. Cependant, beaucoup de ces stratégies sont aussi applicables aux bâtiments plus hauts et plus denses. Les stratégies solaires passives incluent:

1. **Sélection du site:** pour favoriser le confort et un mode de vie sain pour les habitants sans endommager l'écosystème et la biodiversité. Les sites à éviter incluent les champs; les sites où la biodiversité est grande; et les sites sujets aux inondations, glissement de terrains et autres désastres naturels. Les bâtiments résidentiels devraient aussi éviter les friches industrielles, les sites sous pollution constante et les radons qui peuvent être dangereux pour la santé des habitants.

Figure 3.2.1: La construction de bâtiments sur des sites impropres affecte la biodiversité; ces derniers sont souvent situés dans les montagnes, les forêts et les zones côtières.



2. **Conception en adéquation avec le site:** pour minimiser les altérations du site. Un exemple est d'élever la base du bâtiment avec une méthode de déblai-remblai, ce qui nécessite de l'énergie pour transporter la terre. De plus, ces activités peuvent déranger l'hydrologie naturelle, et impacter négativement sur la biodiversité du site et de ses alentours.

Figure 3.2.2: Construction adaptée à un terrain vallonné



- 3. Design adapté au soleil:** Orienter les bâtiments de manière à éviter une exposition trop à l'Est ou à l'ouest, et donc éviter que la chaleur du soleil de l'après-midi ne pénètre dans l'enveloppe du bâtiment. Les bâtiments construits dans l'hémisphère nord devraient avoir des fenêtres et/ou ouvertures orientées vers le sud pour avoir plus de luminosité. De la même manière, les bâtiments dans l'hémisphère sud devraient avoir des fenêtres et/ou ouvertures orientées vers le Nord.

Figure 3.2.3: Dans les tropiques, des logements denses sans fenêtres orientées à l'ouest



L'auto-ombrage, grâce à une géométrie particulière des bâtiments, est particulièrement pratique pour les édifices situés dans des régions chaudes et arides, et des régions chaudes et humides. Par exemple, les cours intérieures et les ouvertures peuvent être à l'abri du soleil l'après-midi grâce à des murs/éléments hauts sur la façade ouest du même bâtiment.

Figure 3.2.4: La géométrie du bâtiment crée un effet d'auto-ombrage – c.à.d., la plupart des fenêtres sont à l'abri de la lumière du soleil qui vient de la gauche de l'image



De plus, des dispositifs particuliers peuvent être installés avec une forme, une taille et une position adéquates qui permettent de protéger les ouvertures et les fenêtres du soleil l'après-midi, tout en laissant au soleil hivernal et à la lumière du jour la possibilité de pénétrer dans le bâtiment.

Figure 3.2.5: Méthode d'ombrages qui permettent néanmoins à la lumière naturelle d'accéder aux espaces intérieurs.



Des constructions adaptées signifient aussi maximiser la lumière naturelle dans le bâtiment afin de réduire la demande en éclairage artificiel. Cela peut être fait par le biais de différentes stratégies de conception, comme des lucarnes, des fenêtres adéquates et des cours intérieures. Leur construction doit cependant prendre en compte le gain qu'elles apportent en énergie, particulièrement en été et dans les régions chaudes, en utilisant les approches citées ci-dessus.

Figure 3.2.6: Un exemple de lumière naturelle à l'intérieur d'un bâtiment



4. Design adapté au vent: grâce au design des bâtiments et de ses ouvertures qui captent la bise estivale et la guident vers l'intérieur de l'édifice. Ainsi, la ventilation est améliorée et cela empêche le vent hivernal de pénétrer dans la bâtisse.

Figure 3.2.7: Dans les tropiques, design pour optimiser la ventilation naturelle



Dans plusieurs cas, il est possible de combiner ventilation naturelle et accès à la luminosité dans les espaces intérieurs. Les conceptions passives devraient optimiser ces opportunités.

Figure 3.2.8: Ventilation naturelle et accès à la lumière du jour, une bonne combinaison pour une maison au Vietnam



- 5. Utilisation de l'inertie thermique:** pour absorber et garder la chaleur mais aussi la fraîcheur, et diminuer les changements de température trop brutaux à l'intérieur, car la température extérieure peut changer très rapidement. En maçonnerie, la pierre et le béton ont une bonne inertie thermique. Leur utilisation dans les conceptions solaires passives se fait de manière à ce que lesdits matériaux (a) soient exposés au soleil pendant l'hiver pour une diffusion de chaleur pendant la nuit et (b) soient exposés à la fraîcheur nocturne en été pour rafraîchir le bâtiment pendant le jour.

Figure 3.2.9: Construction utilisant l'inertie thermique dans les climats tempérés d'Amérique du Nord.



3.3 Les 7 typologies d'atténuation

1. Conception solaire passive avancée

La typologie des conceptions solaires passives avancées peut être considérée comme l'étape qui suit la conception solaire passive, comme décrit dans la section 3.2. Cette typologie prend en compte les technologies et les constructions passives des maisons qui utilisent les principes des conceptions solaires passives comme base de travail, puis les combinent avec les bâtiments et les systèmes de chauffage pour créer des bâtisses à très faible consommation énergétique.

De plus, cette typologie reconnaît le potentiel des matériaux de constructions et des techniques traditionnelles, et attire l'attention sur l'importance de la rénovation et de l'utilisation innovante des matériaux traditionnels et de ces techniques. L'expérience de l'utilisation de ces techniques par les

résidents locaux et la disponibilité des matériaux peu coûteux, rendent ces pratiques « prêtes à l'emploi » dans beaucoup de zones rurales et dans les pays les moins développés. Il existe aussi un gros potentiel concernant les échanges de matériaux et de savoir-faire entre les pays du sud.

2. Les technologies qui améliorent les performances des conceptions solaires passives

Cette typologie renforce les effets des conceptions solaires passives. Elle prend en compte des caractéristiques technologiques et techniques, qui requièrent très peu d'énergie (ou pas d'énergie du tout) pour fonctionner, et qui améliorent pourtant considérablement les performances des conceptions solaires passives. Ces caractéristiques technologiques et techniques sont: les cycles de vies et procédés de conceptions intégrées; des multiples matériaux d'isolation thermique pour les enveloppes des bâtiments; systèmes haute performance pour les façades (par ex.: panneaux composites isolants, double/triple vitrage, etc.); et technologies de récupération de la lumière (par ex.: lucarnes, puits de jour...). Les caractéristiques de ces technologies sont les suivantes:

- a) Elles requièrent des efforts supplémentaires mais faisables pendant la construction du bâtiment
- b) Une fois installées, il n'y a (presque) plus rien à faire pour les utiliser et les entretenir (par ex.: produits d'isolation en plastique cellulaire, façades autonettoyantes etc.)
- c) Elles ont un temps de retour sur investissement très court, sauf pour certains systèmes installés sur les façades (par ex.: système de façades à deux couches, systèmes de triple vitrage, vitrage photochromique, vitrage électrique)

Ces caractéristiques techniques et technologiques sont souvent observées dans les bâtiments récents. L'isolation thermique de l'enveloppe des bâtiments est aussi très populaire lors de leurs rénovations. Particulièrement dans les pays tempérés où elle est utilisée pour améliorer les performances thermiques des bâtiments pendant les saisons froides.

Le cycle de vie des bâtiments ainsi que les processus de conception intégrée sont aussi mis en avant avec cette typologie, en tant que bonne pratique pour encourager les équipes pluridisciplinaires à s'attaquer à tous les aspects de la construction d'un bâtiment, y compris l'aspect cycle de vie, dès le début de sa conception. Ces procédés fournissent une base pour livrer des bâtiments performants à un coût réduit. De plus, le développement des technologies de simulations informatiques permet de prédire les performances environnementales du bâtiment, comme l'exposition au soleil, à la lumière naturelle et à la ventilation naturelle. En outre, les technologies de simulation facilitent le processus de conception intégrée en aidant à la prise de décision pour les bâtiments très économes en énergie.

3. Conception active

La typologie de la conception active prend en compte les technologies, les équipements et les appareils qui sont très économes en énergie mais qui sont tout aussi performants que leurs homologues. Les technologies dont nous parlons sont les systèmes d'éclairage, de chauffage, de ventilation et climatisation (CVC) et l'eau. Les technologies liées à l'eau ont un fort impact, bien qu'indirect, sur le changement climatique, en raison de la quantité d'énergie nécessaire à la purification et la distribution d'eau potable dans les bâtiments. Pour ces raisons, les technologies touchant à l'eau sont comprises dans les options d'atténuation.

L'utilisation de ces technologies dans la typologie de conception active requiert, en général, plus de ressources financières pour l'investissement, l'exploitation et la maintenance. Beaucoup de ces

technologies nécessitent des techniciens et professionnels hautement qualifiés pour les concevoir, les installer et les exploiter. Alors que les technologies étudiées sont en général mises en place pendant la phase de construction du bâtiment pour optimiser les performances, beaucoup d'entre elles peuvent quand même être installées pendant la restauration ou l'amélioration de bâtiments.

4. « à faibles émissions de carbone » et séquestration du carbone

Alors que les 4 typologies précédentes se concentrent sur les performances énergétiques des bâtiments, la typologie « à faibles émissions de carbone » et séquestration du carbone, permet aux bâtiments de diminuer le carbone qu'ils engrangent et même de compenser certaines de leurs émissions. Cela ce fait grâce aux processus suivants:

- a) L'utilisation de matériaux de construction à faibles émissions de carbone, les principaux critères étant qu'ils doivent être disponibles localement, être recyclables et contenir des éléments recyclés.
- b) L'utilisation de matériaux qui séquestrent le carbone, comme le bambou et les produits en bois venant de sources durables. Ces matériaux fournissent aux bâtiments la possibilité de stocker le carbone grâce à la quantité importante de carbone capturée par les plantes
- c) L'utilisation de verdure intégrée aux bâtiments, comme des toits verts, des jardins sur toit, des balcons fleuris et des murs végétaux. Ces systèmes de verdure intégrée permettent au bâtiment de capturer le carbone, tout en nettoyant l'air ambiant et réduisant l'effet « îlot de chaleur urbain » et proposer une vue plaisante aux habitants.

Ces matériaux et ces technologies sont souvent utilisés durant la conception et le choix des matériaux pour le bâtiment. L'installation de matériaux à faibles émissions de carbone et de ceux qui séquestrent le carbone, peut aussi avoir lieu lors de la rénovation des bâtiments. Les matériaux qui capturent le carbone n'engendrent pas de coûts de maintenance ou d'autres coûts particuliers. Cependant, les systèmes intégrés, eux, requièrent un certain investissement et une maintenance continue.

5. Génération d'énergie renouvelable sur place

Cette typologie d'atténuation offre la possibilité aux bâtiments de générer de l'énergie à partir de sources renouvelables, pour la consommation sur place et pour exporter sur le réseau électrique. La génération d'énergie renouvelable sur place contribue aussi au passage des énergies fossiles vers des énergies renouvelables. Les technologies mises en avant cette option pour les bâtiments sont les technologies solaires et éoliennes intégrées aux bâtiments.

Alors que beaucoup de technologies (comme les chauffe-eaux solaires, systèmes photovoltaïques intégrés aux bâtiments, systèmes domestiques, station de chargement solaire,..) sont des technologies qui ont fait leurs preuves et qui ont été déployées dans beaucoup de pays, les éoliennes intégrées aux bâtiments n'en sont encore qu'à leur balbutiement sur le marché. Alors que les technologies intégrées sont plus faciles à mettre en place pendant la phase de construction des bâtiments, les chauffe-eaux solaires, les systèmes domestiques et les stations de chargement solaire peuvent être mises en place à la fois pendant la construction et après. La génération d'énergie sur place est, en générale, une option coûteuse et est souvent développée dans les pays développés en utilisant des subventions des états.

6. Suivi et retour/avis des occupants

Ces typologies d'atténuation incluent des pratiques qui gèrent, surveillent et vérifient les performances énergétiques au stade opérationnel. Les pratiques et les technologies incluent la vérification des performances énergétiques, la gestion des systèmes énergétiques des bâtiments et les contrats de performances énergétiques. Les objectifs sont d'évaluer, maintenir et améliorer les performances énergétiques ciblées, et avoir des retours positifs de la part des occupants.

Les technologies agissant comme des catalyseurs sur les changements de comportements (comme les appareils économes en énergie, les réseaux domestiques et les mètres prépayés) jouent un rôle important dans cette typologie d'atténuation. C'est parce que les comportements positifs des occupants sur les modes de vie durables et sur une consommation amoindrie de l'électricité sont des solutions clés pour l'atténuation du changement climatique. Les technologies mises en avant celles qui consistent à donner accès aux occupants aux données sur la consommation du bâtiment, et à leur montrer que les bénéfices en termes d'énergie sont conséquents.

La plupart des technologies et des pratiques sous cette typologie sont facilement applicables aux bâtiments existants, à part pour la vérification des performances énergétiques (qui est aussi applicable aux nouveaux bâtiments). Le coût de l'implication dans cette typologie pour les propriétaires varie beaucoup, allant de très peu pour les contrats de performances énergétiques jusqu'au coût des installations des systèmes sophistiqués de gestion de l'énergie et des réseaux domestiques. Cela vaut la peine de mentionner la contribution positive des contrats de performance énergétique qui agissent comme des mécanismes administratifs écologiques qui visent les bâtiments existants et remplacent leurs vieux systèmes par des nouveaux plus efficaces et plus économes. Cette pratique a aussi le potentiel de débloquent l'entonnoir financier qui permettrait de mettre en place des technologies d'énergies renouvelables à une échelle bien plus grande dans les pays développés et dans les pays en développement.

7. Au-delà des bâtiments individuels

On sait que l'atténuation du changement climatique peut être faite à l'échelle d'une communauté, qui supporterait par exemple la mise en place de typologies d'atténuation à l'échelle d'un bâtiment. Cette typologie cible un grand nombre de personnes et prend en compte:

- a) Les pratiques et conceptions durables de la communauté, qui consistent à la planification, construction, gestion et initiation d'un développement économique et social, se dirigeant vers les objectifs du développement durable.
- b) Des services énergétiques communautaires sous forme de chauffage de quartier et de générateurs à énergie renouvelable (générateur d'électricité et de chaleur par exemple)

Chacun de ces deux groupes de technologies et pratiques peut être initiés et mis en place dans des nouvelles communautés et d'autres déjà existantes. On sait que les techniques de planifications et de conceptions dans les communautés durables peuvent aussi être appliquées pour améliorer la condition physique d'une communauté existante. La mise en place de services énergétiques communautaires peut être gourmande en investissement, alors que celle des pratiques et des conceptions dans une communauté durable peut être faite avec plus de flexibilité financière. En fait, le modèle de communauté ayant un faible revenu requiert peu d'investissement direct (généralement de la part des ONG et des soutiens du gouvernement) mais génère un gain économique et social stable pour la communauté sur le long terme (par ex. via la création d'emplois verts). Dans ce modèle, certains des gains financiers sont utilisés pour améliorer l'environnement immobilier de la communauté.

4. Technologies et pratiques d'atténuation dans le secteur du bâtiment

4.1 Utilisation innovante des pratiques et des matériaux de construction traditionnels

La technologie

L'utilisation de matériaux de construction et de conceptions traditionnels se trouvent souvent en difficulté, que ce soit par la menace d'être écrasée par la modernisation ou d'être utilisée pour satisfaire les normes des bâtiments et des conditions de vie modernes. Les conceptions et les matériaux de construction traditionnels ont bénéficiés d'un regain d'attention pour les bâtiments écologiques, grâce à l'utilisation de ressources locales qui répondent parfaitement aux conditions locales tout en étant économique.

Plusieurs matériaux traditionnels ont bénéficiés de technologies innovantes à la fois dans leur fabrication mais aussi dans leur utilisation. Ces développements ont permis à certains matériaux d'être financièrement plus réalisables, écologiques et techniquement au point. Les exemples suivants mettent en avant les pratiques et les technologies qui contribuent à l'atténuation du changement climatique.

Matériaux de constructions en lien avec la terre. En Inde, en Afrique de l'Est et en Amérique du Sud, la terre brute est une ressource abondante dans les zones non urbanisées, et elle a été utilisée en tant que matériel de construction. Avec le temps, les technologies modernes ont renouvelés l'utilisation des matériaux en terre brute pour améliorer leurs performances. Par exemple, les matériaux en terre brute sont transformés en blocs de terre compressée, fabriqués à partir d'un mélange d'argile et de sable et formés en utilisant une presse hydraulique. Ces blocs sont connus pour pouvoir supporter une charge équivalente aux deux tiers de ce que peuvent supporter leurs homologues en bétons (Méhta et al., 2004). Une autre amélioration peut se faire en mélangeant la terre avec une petite portion de ciment pendant la phase de production pour fabriquer des blocs compressés plus stables. Ces blocs ont ensuite une meilleure résistance à la compression et à l'eau, et permet donc de construire des murs plus fins et plus hauts. Les blocs stabilisés sont produits en consommant 3 à 5 fois moins d'énergie comparés aux briques cuites (Auroville Earth Institute, 2009).

Les fondations en terre tassée représentent une utilisation innovante des matériaux de constructions liés à la terre. La terre, qui est creusée pour faire les tranchées de la fondation, est tamisée et mélangée avec du ciment et du sable pour devenir le matériau qui va être utilisé pour faire les fondations. Les fondations en terre tassée peuvent supporter le poids de bâtiments pouvant aller jusqu'à 4 étages (Auroville Earth Institute, 2009).

Figure 4.1.1: Fondations en terre tassée, en construction, Inde.

(Source: Auroville Earth Institute)

Les pratiques traditionnelles chinoises en terme d'orientation des bâtiments et des espaces intérieurs était basé sur la croyance que cela améliorerait la santé et la prospérité des habitants si la disposition suivait les caractéristiques naturelles des matériaux et des orientations géographiques spécifiques, c'est-à-dire que le placement et l'orientation des fenêtres, des portes, des couloirs et les dispositions intérieurs et extérieurs étaient telles que cela était censé favoriser les flux énergétiques au sein de l'espace. De tels arrangements seraient à l'origine de la bonne santé (mentale et physique) des habitants. Ces croyances ont été critiquées car n'ayant aucun fondement scientifique. Cependant, des études récentes montrent que beaucoup de ces principes traditionnels sont en fait en accord avec certaines pratiques de construction durables (Zhong et al., 2007). De plus, l'interprétation moderne de certaines pratiques traditionnelles montre qu'elles sont en ligne avec les principes de conception durable des bâtiments. Quelques exemples sont mis en avant dans la section suivante.

Les stratégies de construction traditionnelle en Méditerranée démontrent que les bâtiments sont construits en prenant en compte les conditions climatiques. Les bâtiments méditerranéens traditionnels sont généralement orientés vers le sud avec un grand axe Est-ouest, à cause de la direction du soleil et de la bise estivale. Une cour intérieure et un solarium (un espace intérieure adjacent à la cour) agissent en tant que modérateurs de climat pour l'ensemble du bâtiment, et on peut les trouver dans quasiment tous les bâtiments traditionnels méditerranéens. La cour intérieure sert aussi à créer un microclimat, c'est-à-dire fournir de l'ombre et de la fraîcheur en été, et faciliter l'accès au soleil d'hiver, grâce à de la végétation, des murs extérieurs hauts, des fontaines, etc.

Les bâtisses méditerranéennes traditionnelles ont des murs épais en pierres et en briques en terre cuite, liées avec du plâtre à base de terre. Ces matériaux permettent aux murs épais de tempérer les grandes variations de températures en été, et ont une bonne inertie thermique qui réchauffe l'intérieur pendant les nuits d'hiver. Les murs sont aussi peints en blanc (comme on peut encore le remarquer sur les bâtisses des îles Grecques) pour refléter et non pas absorber les radiations solaires. Des petites fenêtres sont placées stratégiquement en haut des murs pour favoriser la ventilation pendant l'été, et sont maintenues fermées avec des petits buissons très denses (agissant comme isolant thermique) pendant l'hiver. Les fenêtres encastrées dans les murs et les éléments comme les balcons agissent comme dispositif d'ombrage (Lapithis, 2007).

Les surfaces bénéficiant de système de refroidissement à l'eau fonctionnent selon le principe d'évaporation, à savoir que la température de l'air chute lorsque l'eau passe de l'état liquide à l'état de vapeur. Ce principe est appliqué en mettant un film d'eau sur la surface des bâtiments, en particulier sur le toit, pour faire chuter sa température. Le toit agit ensuite comme zone d'échange de chaleur entre le

bâtiment et l'air ambiant. Ce processus rafraîchit l'air sans augmenter l'humidité de la pièce, et améliore ainsi le confort thermique du bâtiment.

Pour mettre en place ces principes, on installe des sprays à eau sur les toits, appelés systèmes roof-pond. Ces systèmes sont composés d'un bassin sur le toit muni d'une isolation réfléchissante maniable. Pendant les grandes chaleurs d'été, l'isolation réfléchissante couvre l'ensemble du bassin et le protège de la chaleur. L'eau reçoit de la chaleur de la part de l'air sous le toit et donc refroidit cet espace. Pendant la nuit, l'isolation est enlevée et la chaleur stockée dans l'eau est relâchée dans l'air ambiant grâce à l'évaporation, la convection et les radiations. Pendant l'hiver, on enlève l'isolation pour permettre à l'eau et à la surface noire du toit d'absorber les radiations solaires et de réchauffer l'espace sous le toit. Pendant les nuits d'hiver, on remet l'isolation sur le bassin pour éviter les déperditions de chaleur de l'eau et l'inertie thermique du bassin garde l'espace sous le toit au chaud.

Figure 4.1.2: Utilisation moderne des systèmes à eau sur les toits pour apporter un meilleur confort thermique et plus de lumière à l'intérieur des bâtiments.



Une autre forme de système de refroidissement par l'eau est utilisée dans certains bâtiments indiens, dans lesquels des tuyaux sont installés à l'intérieur des parois. Il y circule de l'eau et elle rafraîchit le bâtiment. Le système de refroidissement par l'eau dans les murs est utilisé dans l'édifice Lotus Mahalis par exemple. Lorsque la température ambiante est trop élevée, l'eau stockée dans un réservoir circule dans les tuyaux et rafraîchit le bâtiment (Panasia Engineers Pte. Ltd., 2010).

Tours à vent: aussi connues sous le nom de capteurs de vent, elles appliquent les principes de rafraîchissement par évaporation pour distribuer un air frais et ventiler l'espace intérieur. Les tours à vent sont traditionnellement utilisées au Moyen-Orient, là où la température durant la journée est élevée, et

l'humidité faible. Une tour à vent typique comprend une ouverture faisant face au vent pour capter le vent et lui donner un mouvement vertical. Juste après cette prise au vent, et donc en dessous, se situe une jarre faïencée remplie d'eau, qui est transformée en vapeur par l'air sec passant par l'ouverture. Pendant ce processus d'évaporation, l'air se rafraîchi et à tendance à « tomber ». Cela renforce les mouvements d'air vers le bas, fournissant un apport en air frais à l'intérieur. Après une journée entière d'échange thermique, la tour à vent est réchauffée en début de soirée. Ainsi, il apparaît un flux d'air inverse pendant la nuit, lorsque l'air frais des pièces du bâtiment entre en contact avec le bas du système de ventilation qui lui est réchauffé, il se réchauffe aussi et à tendance à « monter ». Ces mouvements d'air, tout en fournissant une ventilation intérieure, rafraichissent la surface de la tour qui devient alors opérationnelle pour une nouvelle journée d'utilisation. La rénovation des tours à vent comprends la conception des prises d'air mobiles, qui se placent automatiquement selon la direction du vent pour un rafraichissement en continu, et l'utilisation d'un spray humidifiant au lieu d'une jarre en faïence remplie d'eau, pour réduire le coût de maintenance du système.

Prérequis de l'application

Comme la plupart des matériaux et des techniques de constructions traditionnelles proviennent des zones rurales, ils conviennent parfaitement aux quartiers peu denses et peu élevés en hauteur. La rénovation et l'utilisation innovante de ces matériaux et de ces techniques les rendent appropriés pour répondre aux normes des bâtiments modernes et aux aspirations des habitants pour un meilleur style de vie, et pour surmonter les problèmes d'ingénierie. Ainsi ils peuvent être utilisés à grande échelle et répondre aux attentes de l'urbanisation moderne. Pour être dans la norme, la rénovation et l'utilisation innovante des matériaux de constructions et des méthodes traditionnelles doivent respecter des normes plus strictes, particulièrement lorsqu'il est question de sûreté et de santé public.

Matériaux de constructions à base de terre. Les types de sol dans différents contextes ont des caractéristiques différentes, et donc un impact sur le poids maximal en charge, et nécessitent différentes doses de ciment et sable pour atteindre certaines performances. Avant toute chose, il est primordial de faire des recherches et de tester les performances desdits matériaux pour des raisons évidentes de sûreté.

D'un autre côté, un prérequis important pour les fondations en terre tassée est que la largeur de la fondation ne doit pas être inférieure à sa profondeur: la terre peut supporter des contraintes de compressions mais ne supporte pas les contraintes de cisaillement. La force des murs du bâtiment va créer des points de charge sur les fondations. Ainsi, une section de fondation avec une profondeur plus petite que sa largeur sera plus faible et ne pourra pas résister aux contraintes de cisaillement alors que des fondations plus profondes pourront. Un moyen de réduire ces problèmes de charge est de renforcer la fondation avec un sous-cadre en métal, bois ou bambou.

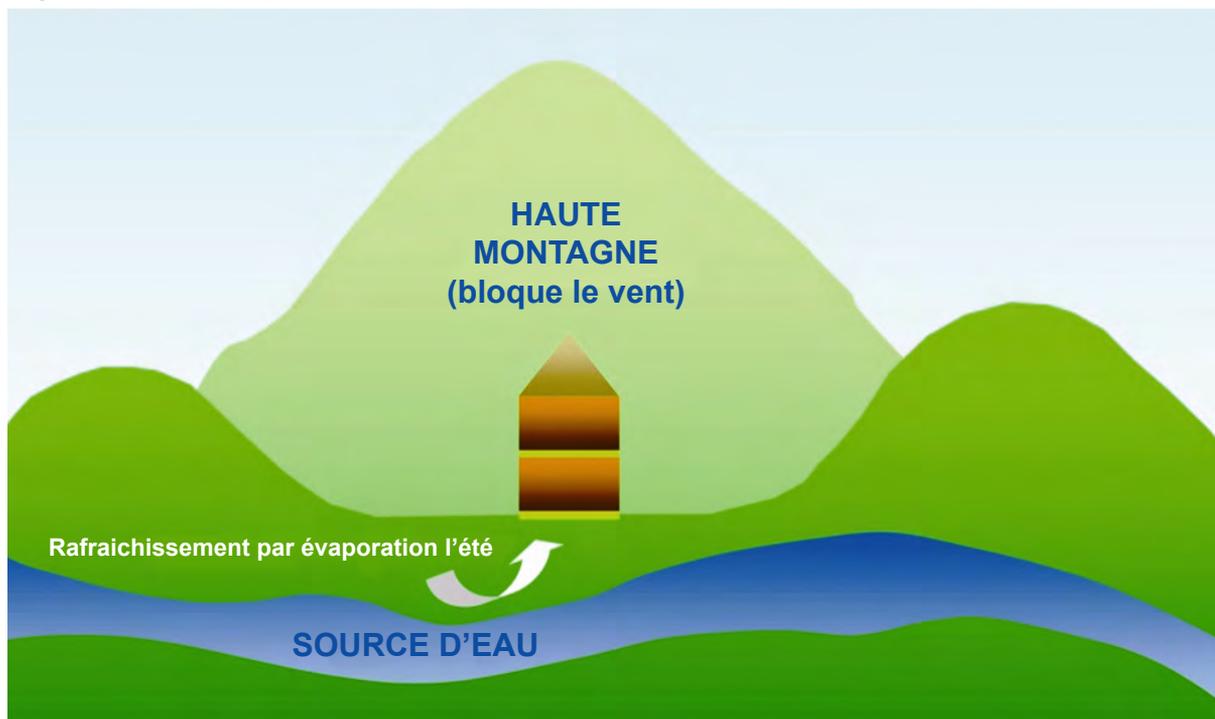
Les stratégies de construction solaires passives dans la zone méditerranéenne montrent une variété de techniques de conceptions solaires passives pour améliorer le confort des occupants. Par exemple, dans une maison traditionnelle chypriote, le solarium et la cour fonctionnent comme des modificateurs de climats (Serghides, 2010). Le solarium est une pièce, adjointe à la cour. Sa façade sud est ouverte pour permettre le passage des flux de personnes dues aux activités quotidiennes (par exemple cuisiner, faire le ménage, prendre un repas, etc.). Le surplomb du solarium est orienté sud et est conçu pour permettre au soleil hivernal de pénétrer dans le bâtiment. La cour est orientée sud aussi et permet de profiter du soleil. Le solarium et la cour sont fabriqués avec des matériaux à forte inertie thermique, comme un dallage en pierre, des murs en adobe, des escaliers et un bassin en pierre, pour créer un microclimat le long de la façade de la maison. Le mur frontal de la cour agit aussi comme un coupe-vent. Pendant l'été, les plantes fournissent de l'ombre et de la fraîcheur devant la maison. Le bassin et la fontaine dans la cour favorisent

le rafraîchissement par évaporation. Les arches, les surplombs et les ouvertures du mur faisant face à la cour aident à canaliser la bise estivale dans la maison. Les ouvertures sont petites sur les murs Est et ouest pour éviter le soleil chaud. Les matériaux à forte inertie thermique dans la cour et le solarium absorbent la chaleur pendant le jour et la relâchent pendant la nuit.

Les pratiques traditionnelles chinoises en termes d'orientation et de dispositions intérieures requièrent une bonne connaissance de la logique derrière chaque principe dans le but de maximiser les bénéfices. Par exemple, une des pratiques traditionnelles décrit que l'idéal pour une maison est d'avoir l'avant orienté vers une source d'eau et vers le sud, et l'arrière accolé à une colline vers le nord. Faire concorder cette approche avec les conditions climatiques dans beaucoup de régions de Chine montre que:

1. Le vent d'hiver vient en général du nord. C'est pourquoi la colline accolée à la maison la protège du vent hivernal.
2. En raison des latitudes, le soleil en hiver est plus facile d'accès par le sud. Ainsi, en orientant l'avant de la maison avec les fenêtres vers le sud, le soleil hivernal pénètre par les ouvertures via un petit angle d'approche, et permet un réchauffement naturel, et améliore le confort thermique des habitants.
3. Le vent d'été vient en général du sud. Avec une source d'eau à proximité, le vent crée un microclimat plus confortable, amélioré par le rafraîchissement par évaporation.

Figure 4.1.3: Pratiques traditionnelles chinoises en termes d'orientation



Une enveloppe de bâtiment équipée d'un système de refroidissement à l'eau est idéale pour les régions chaudes et arides, comme le nord-ouest de l'Inde. Cependant, ce système est moins efficace dans les régions chaudes et humides comme les régions tropicales. La raison est que l'humidité dans l'air réduit les effets de l'évaporation, et que les variations de la température extérieure entre le jour et la nuit sont très faibles. Le toit bénéficiant du système de refroidissement par l'eau est en contact direct avec l'eau, ainsi il est nécessaire que le toit soit résistant à l'eau. Dans le cas de systèmes roof-pond (bassin sur le

toit), il est important pour les utilisateurs de comprendre la logique du système, pour que ce dernier puisse fonctionner sans problèmes.

Les tours à vent ne fonctionnent pas dans les régions chaudes et humides, en raison du fort taux d'humidité dans l'air ambiant. Elles sont cependant très efficaces dans les régions chaudes et arides comme le Moyen-Orient, l'Afrique sub-saharienne et le nord-ouest de l'Inde. L'air sec et la grande différence de température entre le jour et la nuit sont les clefs du fonctionnement de ces tours à vent. Les tours à vent requièrent une maintenance fréquente pour garder l'eau de la jarre propre, pour re-remplir la jarre et empêcher la nidation des oiseaux dans la tour.

État d'avancement de la mise œuvre et pénétration du marché

L'état de mise en œuvre de l'utilisation de matériaux et de constructions traditionnels varie en fonction des techniques et des pratiques dans les contextes locaux particuliers. Certaines sont florissantes, d'autres sur le point d'être oubliées. Comme la plupart des matériaux et des pratiques traditionnels viennent de zones rurales et sont adaptés aux lotissements peu denses pas très haut, ils sont en train de devenir obsolètes sous la pression de l'urbanisation, particulièrement dans les pays en développement. Bien que la rénovation et l'utilisation innovante des matériaux et des techniques traditionnels essayent de percer, les résultats sont limités. Ci-dessous, vous pouvez trouver quelques observations sur l'état d'avancement de la mise en œuvre et la pénétration du marché de la rénovation, de l'utilisation innovante des matériaux et des pratiques traditionnels:

1. Si une zone rurale est destinée à être urbanisée pour ensuite devenir une petite ville (celles par exemple avec des bâtiments de 3-4 étages), les matériaux de construction à base de terre peuvent très bien se développer si leur qualité, leurs performances et leur côté esthétique leur permettent de concurrencer avec les matériaux de maçonnerie habituels. Le coût réduit et la disponibilité des ressources locales les aide à rester concurrentiels. Les enveloppes de bâtiment équipées de systèmes de refroidissement à eau, les constructions méditerranéennes, les tours à vent et les pratiques traditionnelles chinoises sur l'orientation des bâtiments et de leur intérieur, peuvent rester appropriés.
2. Si une zone locale est destinée à être urbanisée et devenir une ville de densité moyenne ou forte, il est difficile d'utiliser des matériaux à base de terre. De plus, les matières premières comme la terre et la végétation, peuvent être moins abondantes ou ne plus être disponibles localement. Les pratiques traditionnelles chinoises d'orientation des bâtiments et de leurs intérieurs n'est pas affecté par une urbanisation plus dense et est toujours applicable dans ce genre de contexte. De même, les principes de construction méditerranéenne, c.à.d. des murs épais (particulièrement les murs est et ouest), les solariums et les cours, les balcons et les surplombs, etc. – sont toujours aussi judicieux dans un contexte d'urbanisation dense.
3. D'un point de vue des relations inter-régionales, il y a un gros potentiel concernant les échanges sud-sud, particulièrement entre les régions ayant les mêmes conditions climatiques, concernant l'utilisation de matériaux traditionnels et la rénovation. Cela est largement dû aux similarités dans les matériaux locaux c.à.d., la terre, le sable, le bois et le bambou- disponibles dans la plupart des régions. Ce qui nécessite d'être transférés sont les principes, le savoir-faire et les équipements.

Faisabilité de mise en œuvre

L'utilisation de matériaux et de constructions traditionnels se fait déjà à l'échelle locale dans certaines régions du monde. Cependant, la pression de l'urbanisation et l'aspiration à vivre dans des maisons modernes avec des matériaux modernes ainsi que la technologie, ont peu à peu conduit à évincer ces

matériaux et ces types de constructions. L'utilisation innovante de ces matériaux leur permet de les garder au goût du jour et de les améliorer pour qu'ils répondent aux nouvelles demandes et attentes. Dans un tel contexte, le défi principal pour une mise en œuvre à grande échelle est de surmonter la perception négative de ces utilisations innovantes des matériaux et des techniques traditionnelles. Par exemple, les matériaux à base de terre sont souvent perçus comme étant des matériaux de construction pour les pauvres.

Figure 4.1.4: La pression de l'urbanisation, que l'on retrouve dans beaucoup de pays en Asie



Un renforcement des capacités et une nouvelle formation sont nécessaires pour les architectes locaux, les ingénieurs et les constructeurs dans le but de faciliter l'adoption de ces pratiques. Pour se faire, de bons projets pilotes, pour montrer la qualité et les performances de ces matériaux et de ces techniques, sont nécessaires. Ces projets de démonstration peuvent être initiés par les gouvernements locaux ou des ONG en collaboration avec le secteur privé et encouragés par les gouvernements locaux. Il a été rapporté que le second modèle était populaire et efficace en Afrique, là où les ONG font le lien entre les agences gouvernementales et les communautés locales. L'investissement des ONG aide à réduire la bureaucratie et libère les agences gouvernementales du pilotage journalier des projets (Mehta et al., 2004). Les ateliers de formations sur le renforcement des capacités sont utiles et peuvent être mis en place par les ONG pour améliorer les compétences de la main d'œuvre locale sur les nouvelles techniques et l'utilisation innovante des matériaux et constructions traditionnelles. Les actions des ONG sont plus efficaces si les politiques gouvernementales les supportent.

Contribution au développement social, économique et environnemental

L'utilisation innovante des matériaux de construction traditionnels est appropriée et favorable aux pays en développement, particulièrement pour les moins développés, en raison des caractéristiques suivantes:

1. Les technologies bien fondées qui ont fait leurs preuves, sont mises à jour pour de meilleures performances et sont utilisées pour d'autres applications dans un contexte local.
2. Elles sont adaptées aux conditions climatiques locales, et donc sont économes en énergie avec un minimum d'effort.
3. Elles utilisent des ressources locales et accessibles, pour réduire les besoins en transports de marchandises
4. Elles favorisent le commerce pour les fabricants locaux
5. Elles permettent de prévenir les carences en matériaux de construction dans certaines régions lors des périodes d'intense construction
6. Elles offrent des opportunités d'emploi pour la main d'œuvre locale qui possède déjà des compétences et une expérience dans le domaine, grâce à leur familiarité avec les matériaux et les techniques utilisées
7. Elles ont un coût de mise en place très faible (voir nul)
8. Les bâtiments construits ressemblent socialement et culturellement aux bâtiments déjà existants

Besoins financiers

Lorsque bien faite, la rénovation et l'utilisation innovante des matériaux de constructions traditionnels ne requièrent aucun coût additionnel, ou très peu, en raison de la disponibilité immédiate de la main d'œuvre et des ressources. Par exemple, les blocs de terre compressée ou les fondations en terre tassée sont les principaux matériaux utilisés pour beaucoup de maisons bon marché mais de bonne qualité en Afrique ou en Inde. La mise en place de tours à vent et des enveloppes équipées de système de refroidissement à l'eau nécessitent un investissement en raison des coûts de construction et de maintenance. Les pratiques chinoises traditionnelles concernant l'orientation des bâtiments et leur arrangement intérieur sont quant à elles gratuites à mettre en place, car ces pratiques ne demandent aucune technologie ou matériaux particulier.

Étude de cas

Maisons mobiles, Auroville, Inde:

La Maison est un projet pilote destiné à construire une maison toute simple mais mobile pour remédier à la pénurie de logement à Auroville, une zone sans plan d'urbanisation particulier. Le concept est de proposer des maisons abordables faites à partir de matériaux de constructions traditionnels en très peu de temps sur un emplacement temporaire. Cependant, la maison peut être démontée, transportée et reconstruite à un emplacement permanent avec un minimum de gaspillage, une fois que le plan d'urbanisation d'Auroville sera en place.

Techniquement, la maison entière était en préfabriqué, y compris les blocs de terre stabilisée pour les murs et les colonnes. Dans le but de démonter la maison sans gaspillage, aucun ciment ou mortier n'a été utilisé. Les blocs sont simplement conçus pour s'encastrent. Du mortier à base de terre a été utilisé à la place du ciment, et des matériaux en bois à la place du métal, pour que la structure soit résistante aux séismes. La construction du mur a pu être faite par une main d'œuvre sans vraiment de qualifications. La construction de la maison n'a pris que 64h avec 16 ouvriers payés et 10-15 volontaires. La maison de 30m² comprenant des panneaux solaires, une réserve d'eau, un système d'évacuation des déchets et toutes les finitions ont été terminée en 2008 et la maison n'aura couté que 5000 US\$ (Auroville Earth Institute, 2010).

Figure 4.1.5: La maison mobile à Auroville, en Inde, pendant sa construction (gauche) et après (droite)



Source: Auroville Earth Institute

4.2 Techniques et design des maisons passives

La technologie

Améliorer la sensibilisation sur les économies d'énergie et le changement climatique a mené à de nouveaux développements dans le secteur du bâtiment, y compris à propos des concepts de maisons passives, de bâtiments à faibles émissions en carbone et même de bâtiments à zéro émission. Les maisons à faibles émissions de carbone et les bâtiments à émission zéro, remplissent leur fonction en appliquant toutes les techniques, les technologies et les stratégies écolos. En raison de cette définition large, un bâtiment peut être considéré comme ayant de faibles émissions de carbone ou comme émettant zéro émissions si il possède des technologies d'énergies renouvelables (voir les sections 4.12 et 4.13), ou simplement s'il emprunte à d'autres sources renouvelables ayant zéro émissions, comme l'énergie hydraulique, les éoliennes, etc. (Torcellini, 2006). D'un autre côté, le concept de maison passive se concentre sur les économies d'énergie du bâtiment. Les maisons passives s'appuient sur les conceptions solaires passives et combinent ces dernières avec des enveloppes de bâtiments bien isolées. Les prérequis en terme de chauffage pour les maisons passives sont sensé atteindre le niveau de 15kWh/m²/an en Allemagne, comparé à 250kWh/m²/an pour chauffer un bâtiment standard ici. Le Passive House Institute définit une maison passive comme étant « un bâtiment dans lequel un climat intérieur confortable peut être maintenu sans chauffage actif ni système de climatisation » (Passive House Institute, 2010).

Une maison passive typique est bien isolée et très étanche, avec des normes de constructions très strictes. Elle est chauffée par le soleil et d'autres sources de chaleur interne, et est équipée d'un ventilateur de récupération d'énergie pour avoir une source d'air tout le temps fraîche.

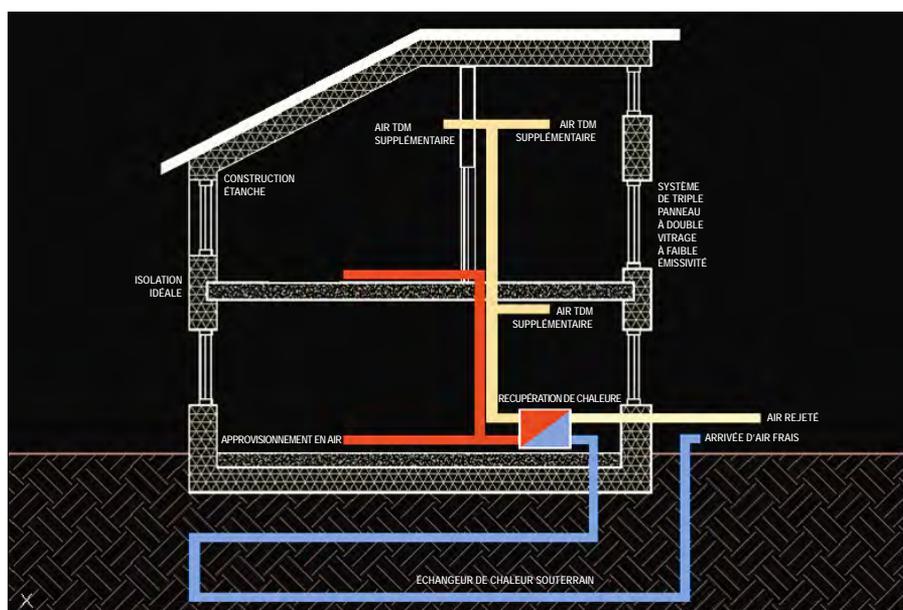
Prérequis pour l'application

Pour commencer, la conception des maisons passives exploite les éléments du contexte environnant le bâtiment (forme du terrain, soleil, vent, pluie, végétation, etc.) et organise l'intérieur du bâtiment de manière à maximiser les économies d'énergies et le confort intérieur. De plus, les technologies des maisons passives doivent satisfaire les conditions suivantes:

1. Excellente isolation: les standards d'isolation sont très strictes pour limiter les pertes thermiques via la conductivité et les radiation

2. Construction étanche: dans le but de compléter l'isolation et de ne pas réduire ses performances, la construction doit être étanche pour limiter les pertes thermiques via les flux d'air entre l'intérieur et l'extérieur
3. Ventilation avec récupération de chaleur: avec une conception étanche, les fenêtres ne sont pas les bienvenues car elles peuvent faire perdre beaucoup de chaleur. L'air frais est récupéré par un ventilateur récupérateur d'énergie, qui transfère l'énergie thermique de l'air évacué vers l'air frais entrant pour que ce dernier soit à la température de la pièce. Une autre option est possible pour guider l'air entrant vers des gaines enterrées. La température du sol, qui est souvent plus élevée que celle de l'air en hiver et plus fraîche en été, aide à pré-réchauffer/rafraîchir l'air entrant. Ce procédé est aussi connu sous le nom d'échange de chaleur souterrain. Ensuite, l'air pré-réchauffé/rafraîchi va dans le système de récupération de chaleur décrit plus haut (Feist, 2005).

Figure 4.2.1: Isolation idéale, construction étanche et ventilation avec récupération de chaleur.



Les technologies utilisées dans les maisons passives sont plus appropriées pour les climats tempérés, comme en Europe ou en Amérique du Nord. Bien que le concept de maison passive se soit étendu à d'autres régions climatiques, le principe des constructions hermétiques et d'isolation stricte sont toujours en cours de débat, particulièrement concernant leur application dans des conditions climatiques plus chaudes. L'application des prérequis suivants est examinée dans un contexte de climat tempéré, climat dans lequel les maisons passives ont été développées à l'origine.

Dans le but d'atteindre ses objectifs, une maison passive doit d'abord déployer toutes ses stratégies de construction pour pouvoir s'adapter au climat. Les principes clés sont:

1. Une bonne orientation: pour s'adapter à la forme du terrain, au positionnement du soleil et aux directions saisonnières du vent.
2. Construction auto-ombragées: la ou les fenêtres et les ouvertures sont exposées au soleil chaud de l'après-midi, elles devraient bénéficier de l'ombre d'autres éléments du bâtiment, comme des balcons, des plantes, des débords de toits ou d'autres éléments.

3. Une forme compacte: pour réduire la surface totale du bâtiment et ainsi minimiser les pertes de chaleur
4. Organisation spatiale: pour placer les pièces les moins habitables, c'est-à-dire les salles de bains et débarras du côté ouest pour agir comme une zone tampon; et mettre les fenêtres du salon vers le sud de manière à obtenir un maximum de lumière.

En plus de ce qui est cité ci-dessus, voici certains prérequis pour répondre aux normes des maisons passives:

1. Isolation: en plus de fournir une isolation suffisante (voir section 4.4) au bâtiment, il est important de prévenir les ponts thermiques des zones sensibles en utilisant du triple vitrage pour les fenêtres, avoir le sens du détail pour les joints entre le sol et les murs, pour les cadres des murs, les cadres des fenêtres, le plafond et le toit.
2. Constructions hermétiques: Les portes et fenêtres doivent être étanches. Pour l'exemple, les joints ne devraient pas laisser fuir un volume d'air équivalent à 0,6 fois le volume de la maison par heure.
3. Mesures de la qualité de l'air: avec les constructions hermétiques, la qualité de l'air devient importante pour le bien être de l'habitant. Ainsi, les mesures de qualité de l'air devraient être faites pendant les phases de conception et construction. Cela prend en compte, mais pas uniquement, sélectionner les matériaux de construction et les liants qui contiennent peu de composés organiques volatiles, et mettre en place une procédure d'épuration, pendant laquelle le nouveau bâtiment est complètement ouvert pour permettre à l'air de circuler pendant une période déterminée avant qu'il soit occupé.
4. Système de ventilation: La récupération de la chaleur à partir de l'air évacué grâce à des échangeurs air-air est appliquée pour obtenir un taux d'efficacité de 80%. Il est aussi important de placer les conduits d'air chaud à l'intérieur de l'enveloppe du bâtiment et les conduits d'air frais à l'extérieur (Passive House Institute, 2010). Cependant, dans les régions chaudes, c'est le contraire qui est recommandé.

Pour parvenir à ces standards stricts, plusieurs projets liés aux maisons passives ont été lancés, ce qui a débouché sur le développement d'un logiciel appelé Passive House Planning Package (PHPP). PHPP est un programme de modélisation énergétique qui prévoit l'utilisation de l'énergie dans le bâtiment en prenant en compte presque tous les aspects liés à la consommation d'énergie, y compris les données météorologiques du site, l'orientation, le type de construction, les matériaux utilisés, le design des fenêtres et leur positions, les systèmes de ventilation, les appareils ménagers et autres équipements électriques du bâtiment. Comme de plus en plus de données post-occupation du bâtiment sont disponibles et que le concept de maison passive a été étendu à d'autres régions du monde, PHPP a été sans cesse amélioré, en partie avec l'ajout de simulations pour d'autres climats du monde.

État d'avancement de la mise en œuvre et pénétration du marché

Le principal marché de maisons passives est en Europe, avec en tête l'Allemagne et l'Autriche, et l'Amérique du Nord à un plus petit marché. Depuis Mai 2009, on estime qu'il y a environ 19100 projets de maisons passives en Europe (Lang, 2009). Les projets de maison passive devraient être largement adoptés dans le marché de la construction et de l'immobilier en Europe. On prévoit que d'ici 2015, il y aura environ 260000 projets de maisons passives en Europe avec une surface au sol totale de 85.2 millions de mètres carrés de nouveaux bâtiments et 6.2 millions de mètres carrés de bâtiments rénovés (Lang, 2009). Parmi les pays en développement, l'Europe de l'Est a les plus grandes perspectives de pénétration de marché concernant les maisons passives et leurs technologies, grâce aux similarités de climats et à la proximité géographique avec les autres régions d'Europe, ou les concepts de maison passives ont été mis en place.

Les technologies des maisons passives et leur design ne sont pas limités aux bâtiments résidentiels. Récemment, d'autres type de bâtiments, comme des écoles et des bureaux ont aussi appliqués des technologies et des conceptions qui appartenaient aux maisons passives, ce qui a donné de bons résultats en termes d'économie d'énergie.

Faisabilité de la mise en œuvre

Les régions différentes ont différentes: conditions climatiques, disponibilité pour les matériaux de construction et pratiques. Même dans les régions tempérées, la différence entre les températures extrêmes, l'humidité, la géothermie, etc., peut être identifié. Par conséquent, alors que les principes des maisons passives et leur technologie peuvent être appliquées dans plusieurs régions tempérées, les normes quantitatives réelles et les constructions peuvent varier. Il est utile d'avoir localement une étude de faisabilité générale et de mener des recherches sur les pratiques et les normes les plus appropriées aux maisons passives. Les résultats des recherches peuvent ensuite être utilisés pour concevoir des guides et des normes, qui seront utile pour une adoption à grande échelle.

Bien que les principes et la technologie des maisons passives peuvent être utilisée par des propriétaires et des potentiels propriétaires de bâtiments individuels, un bon soutien de la part des institutions, comme des codes de construction locaux basés sur les principes des maisons passives et un apporter un soutien visible aux projets de constructions publiques, peut faciliter leur mise en place.

Les technologies des maisons passives requièrent des techniciens compétents qui ont le sens du détail, pour l'hermétisme, les ponts thermiques, etc. Ainsi, un renforcement des capacités et la formation de la main d'œuvre locale sont nécessaires.

On note aussi que beaucoup de pays en développement n'ont pas les capacités de fabrication pour produire localement les éléments et les matériaux des maisons passives, comme l'isolation, le triple vitrage, etc. Importer ces composants et matériaux est trop cher et augmente l'empreinte carbone du produit. Il est donc important de développer le renforcement des capacités et les éléments institutionnels pour soutenir et attiser la consommation des producteurs locaux en termes de matériaux pour maisons passives.

Contribution au développement social, économique et environnemental

Le design et technologies des maisons passives sont bons pour le développement environnemental, en raison des économies sur l'éclairage artificiel, le chauffage, la ventilation et l'air conditionné. Dans le but d'optimiser l'apport en lumière et le confort thermique, le design et la technologie des maisons passives offrent aux occupants un meilleur confort thermique, environnement intérieur, qualité de l'air intérieur et contact visuel avec l'extérieur du bâtiment. Ces bénéfices permettent une meilleure qualité de vie.

En raison du fait que les technologies des maisons passives ne reposent pas sur des systèmes actifs et des équipements haute technologie pour fonctionner, les conceptions des maisons passives peuvent être considérés comme une option d'atténuation économique. La basse demande en énergie de ces maisons passives aide à réduire la consommation d'électricité pendant les heures de pointes, et permet de faire d'autres économies en évitant d'investir dans les infrastructures locales pour augmenter leur capacité énergétique.

La promotion de l'utilisation des maisons passives permet aussi d'améliorer les compétences de la main d'œuvre locale et améliorer le niveau de vie des résidents. Cela mène à de meilleures perspectives d'emploi, des communautés saines et une économie plus verte.

Besoins financiers

La mise en place des maisons passives induit d'avantages d'investissement pour fournir une isolation performante, des fenêtres à triple vitrage, des constructions hermétiques, des ventilateurs à récupération de chaleur, des normes de constructions strictes, ainsi de suite. Cependant, d'aucuns disent qu'un plus grand coût d'investissement peut-être équilibré en évitant les coûts dus aux investissements dans des systèmes de chauffage, ventilation et climatisation (CVC) sophistiqués et leur coût de maintenance élevé. Au lieu d'investir dans un système CVC, les maisons passives investissent d'abord dans une meilleure enveloppe du bâtiment, ce qui améliore aussi la durabilité du bâtiment et sa durée de vie. La règle d'or est qu'une maison passive est considérée comme étant économe lorsque « les coûts combinés (construction, y compris conception et installation des équipements, plus les coûts d'exploitation pour 30 ans) ne doivent pas dépasser ceux d'une maison traditionnelle » (Passive House Institute, 2010).

Étude de cas

Bureaux de Bragadiru, Ilvof, Roumanie:

Le projet concerne un nouveau bâtiment administratif, construction en maçonnerie avec une surface de 2400m². Ce projet est le premier bureau en Roumanie à utiliser la technologie des maisons passives. L'enveloppe du bâtiment est partiellement isolée grâce à des moules pour béton (ICF) à base de tissu Neopor. Les ICF sont assemblables facilement en les remplissant de béton sur place. Les murs intérieurs et extérieurs sont moulés d'une seule pièce et ont de bonnes propriétés d'isolation. Les murs sont ensuite isolés avec du polystyrène de densité 24 Kg/m³ à l'extérieur, et de la fibre de cellulose à l'intérieur. Le polystyrène et les fibres en cellulose sont aussi utilisés pour isoler le toit. Le système de ventilation du bâtiment utilise la récupération de chaleur pour pré-réchauffer et pré-rafraichir l'air frais respectivement d'hiver et d'été.

L'édifice a des demandes en énergies très faible. Cela a été vérifié par le Passive House Institute à Darmstadt via la méthode de vérification PHPP. Les résultats montrent que la demande annuelle en chauffage est de 15kWh/m² (Passivhaus Datenbank, 2010)

Bâtiments préfabriqués utilisant les principes des maisons passives, Chine:

Les concepts et technologies des maisons passives ont été adoptés par Broad Sustainable Buildings dans leurs prototypes de préfabriqués. Ces prototypes sont préfabriqués avec des composants très isolant, incluant jusqu'à 400mm d'isolation extérieur et du triple vitrage avec système d'ombrage.

Comme les fenêtres et les murs sont complètement isolés, la température intérieure peut être maintenue constante. Bien que le système de ventilation permette de bons échanges par heure sans mélanger l'air intérieur et extérieur, un appareil de récupération de chaleur permet d'aider à maintenir la température souhaitée avec un minimum d'énergie dépensée. Dans les régions froides, l'énergie requise pour chauffer ces bâtiments peut descendre jusqu'à 20kWh/m². Comme les éléments du bâtiment sont préfabriqués, la qualité (particulièrement pour les constructions hermétiques) peut être mieux coordonnée et contrôlée; de plus les déchets et autres impacts environnementaux (comme le bruit et la poussière) sont réduits pendant la phase de construction. Le temps de construction sur place peut être réduit drastiquement, c.à.d. un bâtiment de 4 à 6 étages peut être érigé sur place en un jour. Les prototypes qui ont été mis en place incluent des appartements résidentiels, des bureaux, un centre d'exposition et un hôtel (Broad Sustainable Building, 2010).

4.3 Cycle de vie et processus de conception intégré

La technologie

Le processus de conception intégré peut être compris comme étant un processus de conception permettant de construire un bâtiment dans lequel les relations avec le contexte environnant et les composants techniques et technologiques font partie d'un système complet, et ce, pendant la durée de vie complète du bâtiment (Larsson, 2005). Ces objectifs peuvent être atteints une fois que les membres de l'équipe travaillent efficacement dès le début pour prendre des décisions stratégiques et résoudre tous les problèmes de conception. De cette manière, les technologies et stratégies économes en énergie peuvent être incorporées dans le design du bâtiment d'une manière qui prend en considération le cycle de vie de l'édifice.

De tels résultats ne sont pas souvent atteints en utilisant un procédé de conception linéaire, qui commence généralement avec l'approbation d'un plan entre le client et l'architecte. Les partis mécaniques, électriques, structurales et génie civil sont ensuite sollicités pour qu'ils donnent leur point de vue sur le plan. Les ingénieurs sont donc pieds et poings liés par l'approbation antérieure des paramètres de conceptions entre les deux autres partis. Il en résulte que leurs propositions en termes d'économie d'énergie ne sont en général pas optimales, mais ressemblent plus des ajouts ou une tentative de rattraper une mauvaise décision prise auparavant. Par exemple, pour une forme de bâtiment, qui a reçu la première approbation, qui prévoit de construire de grandes fenêtres orientées à l'ouest, l'ingénieur ne pourra choisir que le type de vitrage adéquate pour une économie d'énergie maximale et un système d'air conditionné qui sera sûrement un CVC. Ce qui en découle est loin d'être optimal et augmente inutilement le prix du bâtiment. De plus, du point de vue du cycle de vie du bâtiment, l'apport énergétique du CVC supplémentaire ainsi que la grande surface de double ou triple vitrage nécessaires, peuvent être considérés comme du gâchis. Une meilleure approche consiste à soulever ces problèmes et les résoudre dès le début de l'étape de conception; et peut être que les problèmes causés par les fenêtres sur la façade ouest pourront être évités.

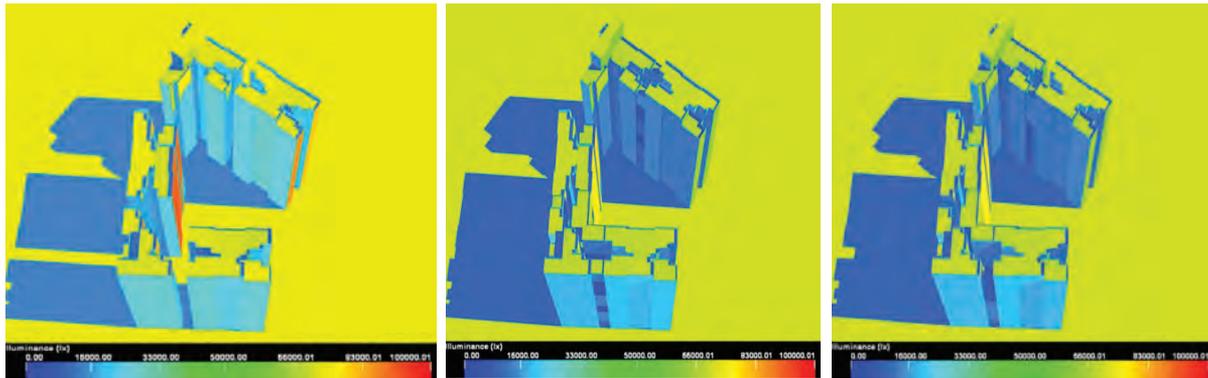
Les éléments typiques du processus de conception intégré peuvent être séparés en 3 groupes:

1. Approche interdisciplinaire et interactive: une équipe pluridisciplinaire devrait être formée dès le début du projet. Les partis impliqués, en fonction de la complexité du projet, sont le client, l'architecte, les ingénieurs, les métreurs, les consultants en énergie, les architectes paysagers, les directeurs d'établissements, les entrepreneurs (constructeurs) et les designers (dans les projets complexes) (Lohnert et al., 2003). Les membres de l'équipe établissent d'abord une série d'objectifs et travaillent en collaboration pour les atteindre.
2. Prise de décision basée sur le cycle de vie: Les décisions prises pendant la phase de conception, comme la forme du bâtiment, l'orientation, les caractéristiques du design, les matériaux de construction, les systèmes structurels, les équipements mécaniques et électriques, devraient être basés sur une évaluation du cycle de vie. L'évaluation devrait prendre en compte l'énergie intrinsèque du produit ou du système, ses performances, son coût pendant le cycle de vie, sa durée de vie et sa fin de vie.
3. Outil d'assistance à la conception: la conception des bâtiments durable a été récemment rendue plus simple grâce au nombre grandissant d'outils informatiques d'aide à la conception. Ces outils simulent les performances environnementales du bâtiment, et calculent l'énergie nécessaire pour rafraîchir ou réchauffer le bâtiment, les émissions de CO₂, le cycle de vie, ainsi de suite. Les outils de simulation permettent d'anticiper les performances de construction environnementale. Ils concernent généralement des paramètres tels que le rayonnement solaire et les ombres, la lumière du jour, la mécanique des fluides numériques pour les mouvements de l'air etc. Ces outils

permettent de simuler des stratégies rendues visibles via des interfaces graphiques pensées pour l'utilisateur. Ils sont particulièrement utiles pour:

- a) Fournir des retours d'information permettant d'orienter le processus de conception. Par exemple, les résultats d'analyse du rayonnement solaire permettent à l'équipe de concepteurs, tout d'abord, d'identifier les aires/espaces requérant des pare-soleils, ensuite de dessiner les formes et les dimensions de ces pare-soleils de manière à ce qu'ils soient fonctionnels, puis finalement de simuler et vérifier leur performance sur la modélisation du bâtiment.
- b) Comparer différentes options de conception, stratégies et technologies à utiliser. Cela permet de faciliter le processus de prise de décision de l'équipe interdisciplinaire.

Figure 4.3.1: La simulation de la lumière du jour sur différents types de conception de bâtiments facilite le processus de prise de décision.



Les technologies de simulation par ordinateur ont aussi été rapidement développées pour faciliter les prises de décisions lors de l'étape de conception. Elles permettent d'optimiser les performances environnementales et les coûts de construction. Les cinq principaux paramètres qui utilisent la simulation par ordinateur sont listés ci-dessous, avec des exemples des logiciels utilisés:

1. Simulation du rayonnement solaire et des ombres et réflexions: ECOTECH
2. Simulation de la lumière du jour et des ensoleillements: Radiance, Daylight, DAYSIM
3. Simulation thermique: TAS, IES
4. Mécanique des fluides numériques (MFN): Energy Plus, eQuest
5. Demande d'énergie et équilibre de l'approvisionnement: Energy Plus, eQuest

Ces dernières années, les outils de conception auparavant répartis entre plusieurs logiciels, ont été remplacés par des plates-formes informatiques « tout-en-un » pouvant à la fois servir d'outils d'esquisses, de visualisation, de simulateurs de performances environnementales, d'outils de programmation locale permettant de contrôler la conformité, et aussi d'outils facilitant le management. Le logiciel Bentley Tas Simulator V8i en est un exemple. Le logiciel dispose des éléments suivants:

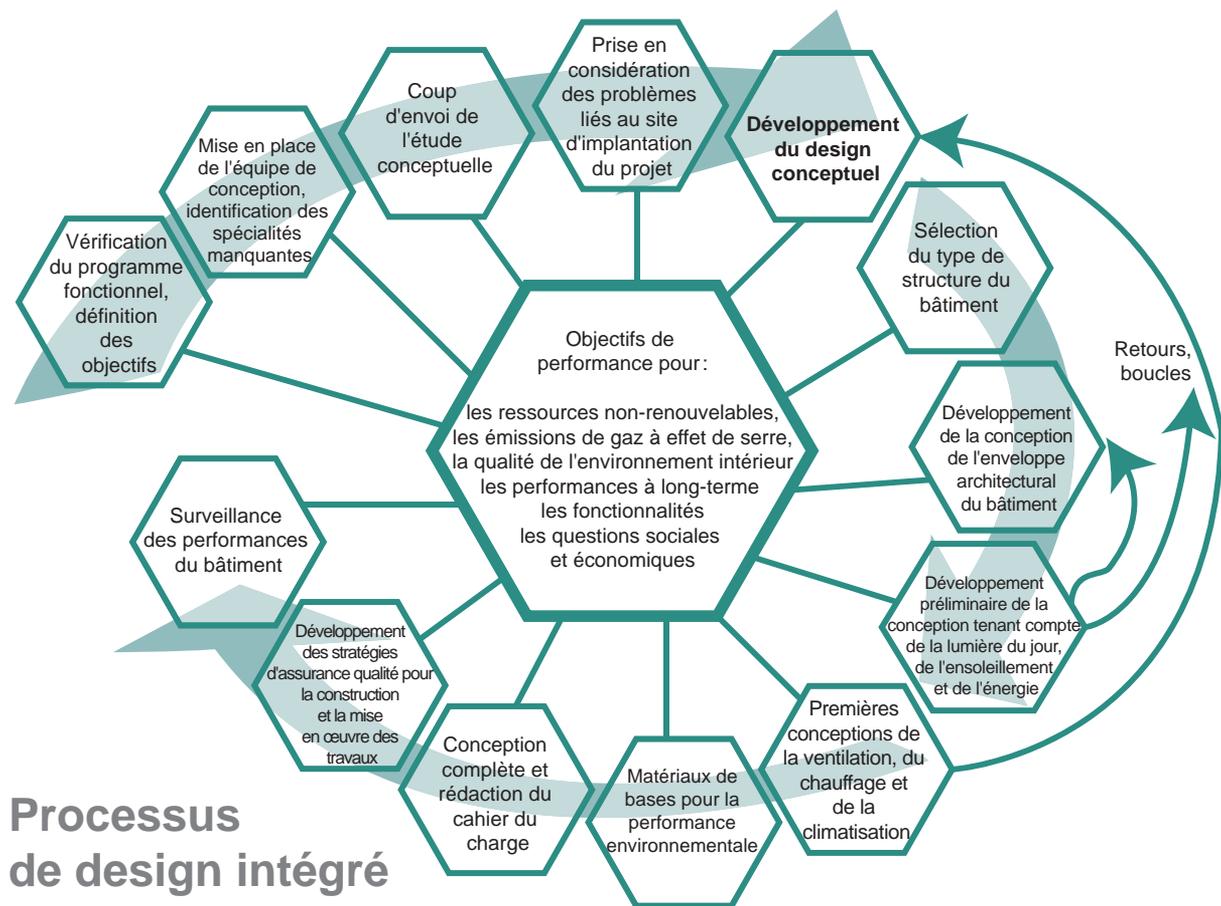
1. Un outil de conception (pour simuler la ventilation naturelle, pour calculer les charges thermiques des pièces, la consommation d'énergie, la dimension des plantes, les émissions de CO₂ et la gestion des coûts)
2. Un outil de mesure de la conformité (par exemple, la simulation et le calcul de la conformité des normes ISO; il est aussi utilisé comme méthode de calculs dans le cadre de réglementations relatives à la construction en Grande-Bretagne)

3. Les plates-formes informatiques « tout-en-un » sont cependant toujours en phase d'exploration mais sont désormais complètement ou largement intégrées aux pratiques de conception de bâtiment.

Les exigences dans la mise en pratique

Contrairement au processus de conception linéaire conventionnel, le processus de conception intégré est caractérisé par une série de boucles d'activités répétées à chaque étape du design: du concept, à la schématisation, à la conception détaillée, allant jusqu'à la mise en place du cahier des charges. Chaque boucle d'activité implique tous les membres de l'équipe, de manière à ce qu'ils interagissent les uns avec les autres pour optimiser les décisions. La constitution d'équipes pluridisciplinaires est cruciale dès le début du projet, et requiert une croyance de toute l'équipe dans le processus, et une totale adhésion des promoteurs immobiliers.

Figure 4.3.2: Un processus de conception intégré (Crédit: Larsson, 2009)



Durant le processus de conception intégrée, le temps pris dès les premières étapes de la conception, c'est à dire au moment de l'étude conceptuelle et schématique, est inévitablement plus long que lors des processus de conception linéaire conventionnels. Toutefois, ce temps supplémentaire est compensé par la réduction du temps de coordination lors des dernières étapes de conception: la mise en place du plan de construction détaillé et du cahier des charges. De plus, en intégrant les promoteurs dès les premières étapes de la conception, on peut réduire les délais de construction. Le projet nécessite moins de coordination, moins de rappels et de remises en questions.

Une équipe pluridisciplinaire est nécessaire pour développer un esprit d'équipe, une véritable écoute et l'envie de coopérer les uns avec les autres. Elle intègre généralement un architecte, un ingénieur structure, un ingénieur civil, un ingénieur mécanique et électrique, plusieurs géomètres experts et des spécialistes en énergie. Dans cette relation de travail « interactive », le rôle de l'architecte ne se limite pas aux propositions concernant la forme des constructions et l'agencement de l'espace. Il intègre aussi, dans la conception, les idées et données provenant de toute l'équipe. Le rôle des ingénieurs ne se limite pas aux systèmes et à proposer des solutions. Dès les premières étapes de la conception, les ingénieurs sont invités à prendre des initiatives et proposer des réponses pour atteindre les objectifs de haute performance environnementale. Le rôle des géomètres experts est aussi étendu à différents champs qui doivent être intégrées à la conception: le calcul de coûts de construction mère; l'analyse des cycles de vie; l'évaluation des cycles de vie des matériaux de construction et des autres systèmes technologiques. Le promoteur immobilier doit aussi prendre un rôle plus actif au processus en participant aux ateliers de conception, plus particulièrement à ceux concernant l'optimisation des performances du bâtiment. La recherche de haute performance, la considération des cycles de vie et les autres objectifs de conception doivent être les objectifs ultimes pour diriger les interactions et les relations de travail entre les différents membres de l'équipe.

Les simulations informatiques ne doivent pas être utilisées uniquement à la fin du processus de conception, au moment de la vérification et de la présentation du projet. Elles sont particulièrement utiles pour simuler les performances des différentes stratégies de conception et pour comparer différents systèmes technologiques. Par conséquent, les simulations informatiques doivent être déployées pendant le processus de conception intégré, comme un outil d'assistance à la conception, pour permettre des retours à l'équipe pour améliorer la conception et aider à la prise de décision. Pour optimiser les ressources humaines et le temps, les simulations informatiques peuvent être utilisées à un niveau macro au moment de l'étude conceptuelle. Elles peuvent servir à simuler les volumes généraux du bâtiment et donner ainsi des réponses rapides quant aux orientations générales du projet. Pour en venir à l'étude schématique et détaillée, des simulations informatiques plus détaillées sont requises pour permettre d'améliorer la conception et de faire des ajustements.

État d'avancement de la mise en œuvre

Dans le domaine de la construction durable, le cycle de vie et les processus de conception intégré ont progressé graduellement, passant du stade de pratiques expérimentales et ponctuelles, à celui de pratiques largement diffusées dans les cabinets de consultants et chez les promoteurs immobiliers. Au Canada, dans le cadre de projets financés par l'État, le processus de conception intégré est aussi considéré comme critère de sélection (Travail Public et Services Gouvernementaux Canada, 2011). Des directives claires concernant l'intégration de processus de conception intégrés ont été établies par un grand nombre d'organisations internationales et des corps de recherches, comme l'International Energy Agency Task 23 et l'Initiative Internationale pour un Environnement de Construction Soutenable.

Les dernières années, les simulations par ordinateur ont aussi gagné de la popularité. Les raisons principales de cet engouement sont:

1. Leur reconnaissance par le secteur de l'Industrie comme étant des outils permettant d'améliorer les performances environnementales des bâtiments et de réduire les coûts (en évitant des frais de fonctionnement supplémentaires dus à de faibles performances ou bien des dépenses après la construction des bâtiments)
2. Le développement des technologies s'est fait de manière plus précise

3. Le développement de technologies ergonomiques, adaptées à l'utilisateur, compatibles avec plusieurs programmes de modélisation, d'esquisse, de visualisation et de simulation. Ce gain de temps lors de la modélisation et de la simulation, permet d'intégrer des retours et des simulations de coûts dans le processus de conception.

Ce progrès global concernant le cycle de vie et le processus de conception intégré sont amplifiés par la tendance générale que suivent de nombreuses multinationales et qui consiste à intégrer ces dimensions dans leurs projets de grande envergure. Ces sociétés (consultants et promoteurs immobiliers) déplacent leurs pratiques de conception intégrées et des outils avancés de conception par ordinateur hors de leurs pays d'origine, pour de nouveaux projets de constructions dans des pays en développement et des pays moins avancés.

La faisabilité de la mise en œuvre

Le processus de conception intégrée ne contient pas d'éléments radicalement nouveaux, mais il intègre une « approche qui a fait ses preuves, à l'intérieur d'un processus systématique global » (Larsson, 2004). Par exemple, « les compétences et expériences d'ingénieurs mécaniques et électriques, et celles de plusieurs consultants spécialisés, peuvent être intégrées à la conception au tout début du processus. » (Larsson, 2005). Les expériences conduites en Amérique du Nord et en Europe montrent qu'avec l'impulsion et le soutien du gouvernement sur des projets pilotes, le processus de conception intégrée est ensuite adopté par les professionnels du bâtiment qui constatent qu'il revêt de nombreux avantages.

Pour la mise en œuvre à grande échelle des approches de conception intégrée, le facteur clé est l'adhésion des principaux acteurs de l'industrie du bâtiment: ils changent ainsi leur vision des choses et adoptent une pratique avec un esprit d'ouverture, d'initiative et d'équipe.

Dans les régions où le cycle de vie et le processus de conception intégrée ne sont pas une pratique commune, des moyens sont nécessaires pour permettre aux acteurs clés et aux professionnels de s'y ouvrir, et pour leur montrer comment le processus se déploie. Il y a aussi un besoin de former la main d'œuvre par l'intermédiaire de spécialistes de l'énergie, d'experts de l'évaluation et de l'analyse du cycle de vie, et d'experts dans l'utilisation de simulations par ordinateur comme outils de conception et d'aide à la prise de décision. En plus de cela, il est nécessaire de collecter des informations sur le cycle de vie des matériaux de construction, des produits, des composants et des systèmes technologiques et d'établir une banque de données détaillée pour permettre l'évaluation et l'analyse du cycle de vie. Ces recherches peuvent s'effectuer en collaboration entre les organismes locaux de réglementation, les instituts de recherche, les universités, les fournisseurs de matériaux de construction et d'autres professionnels de l'industrie du bâtiment.

Les apports du processus de conception intégrée et du cycle de vie au développement social, économique et environnemental

Le cycle de vie et les processus de conception intégrée contribuent indirectement à la durabilité sociale et environnementale. Les méthodologies et les outils informatiques qu'ils utilisent permettent de construire des bâtiments à haute performance. L'évaluation du cycle de vie et les décisions qui en découlent permettent de remédier à la pénurie des ressources naturelles, incitent à l'utilisation de matériaux de constructions et de composants efficaces et des considérer la fin de vie des matériaux.

L'approche du cycle de vie contribue aussi au développement économique. Cette approche différencie les économies de coût réel (ou constaté), des économies sur le coût initial de construction, qui peuvent éventuellement mener à de mauvaises performances environnementales de construction et à une perte de temps à l'exécution des travaux. Le résultat final consiste en une réduction globale des coûts du cycle de vie et en une diminution de la facture sociale et environnementale pendant la construction et l'exécution des travaux.

Le cycle de vie et le processus de conception intégrée contribuent indirectement au développement social en général. Il met à disposition des différents intervenants, des méthodologies permettant de livrer des bâtiments de haute qualité. Le processus, à travers le travail d'équipe et les nombreuses interactions positives qu'il permet, renforce les relations entre professionnels du bâtiment, augmentant ainsi la conscience de leur responsabilité environnementale et sociale. Le processus agit aussi comme une plateforme d'apprentissage croisé, de partage de connaissances et d'innovation/de créativité pour créer un environnement de construction durable.

Les besoins financiers

L'approche du cycle de vie et les analyses réalisées lors du processus de conception intégré entraînent une optimisation des coûts. Le calcul des coûts ne se base plus uniquement sur les coûts de construction mais sur les coûts affectant toute la durée de vie du bâtiment. A travers les analyses du cycle de vie, propriétaires de bâtiments et promoteurs immobiliers peuvent mieux comprendre les bénéfices et économies à long terme permis par l'intégration des stratégies et technologies de conception énergétiques performantes. Ainsi, les technologies d'efficacité énergétique sont prises en compte dès le début du projet. Elles ne risquent pas d'être annexées au moment de l'exercice de réduction des coûts, qui a généralement lieu juste avant le début de la construction.

Il a été prouvé que le cycle de vie et le processus de conception intégrée aident au développement de bâtiments à haute performance ayant un coût égal ou légèrement supérieur au budget estimé au tout début du projet (Larsson, 2005). Les frais généraux que nécessitent le cycle de vie et le processus de conception intégrée sont très faibles. Le processus peut être considéré comme une nouvelle répartition des budgets aux différentes étapes de la vie du bâtiment dans sa totalité, plutôt qu'un investissement supplémentaire. Du point de vue de la durée de vie du bâtiment, ces variations du budget ont lieu en utilisant une partie des coûts opérationnels de la construction pour rembourser les frais sensiblement plus élevés de consultation pendant les phases de conception. Les frais additionnels de consultation sont dû à:

L'emploi d'ingénieurs, de métreurs et spécialistes de l'énergie dès le lancement du projet, plutôt qu'après les études théoriques ou schématique de la conception.

L'analyse du cycle de vie et l'utilisation d'outils d'assistance informatique permettent de simuler différents scénarios pour la conception. Les coûts qui en découlent varient selon les services à disposition localement. Par exemple, les coûts d'analyse du cycle de vie et des simulations par ordinateur sont relativement faibles dans les pays développés. Les pratiques y sont déjà établies et la concurrence entre plusieurs prestataires de services permet une variation de prix. Dans ce contexte, beaucoup d'entreprises de consultants ont l'expertise de procurer des services en interne. Elles intègrent ainsi souvent les coûts supplémentaires dans leurs devis. Cependant dans un contexte local où les spécialistes de l'analyse du cycle de vie et les simulations par ordinateurs sont rares, les coûts de tels services sont plus élevés et sont souvent facturés séparément au client via un devis de consultation.

Étude de cas

Une école à Mayo, au Canada:

La construction de cette école de 3400 m² est un projet pilote qui applique le processus de conception intégrée. Il est soutenu par le Programme Canadien de Bâtiments Performants C2000 (Canadian C-2000 Program for Advanced Buildings). Les objectifs de conception incluent: la mise en place d'un environnement éducatif de qualité adapté aux nombreux besoins de la communauté, de hautes performances environnementales et le respect d'un budget fixe. L'équipe de conception est formée d'un ingénieur énergétique et d'un facilitateur de conception engagés directement par les propriétaires. Le concept et les principes du processus de conception intégrée ont été partagés à l'équipe durant une étape de conception schématique. En ce sens, tous les membres de l'équipe ont participé aux prises de décision à tous les niveaux. Ils se sont mis d'accord sur toutes les orientations de la conception. A partir de ces orientations générales, certains problèmes de conception spécifiques ont été résolus par des spécialistes, avec des consultations répétées entre les différentes disciplines impliquées.

Durant la conception, les performances énergétiques du bâtiment ont dû être tempérées suite à l'apparition de coûts supplémentaires et l'émergence d'autres problèmes pratiques. L'équipe a utilisé différents outils informatiques pour aider à la prise de décision. Parmi ces logiciels: C-2000, un logiciel de suivi des décisions; DoE pour les simulations d'énergie et Superlite pour la lumière du jour et les analyses de luminosité. Les résultats ont montré que tous les objectifs du projet, les critères et le budget ont été respectés avec l'accord de tous les membres de l'équipe de conception. De plus, le bâtiment atteint de hautes performances environnementales et une certaine qualité architecturale. Un autre résultat encourageant est que, tous les membres de l'équipe de conception se sont montrés satisfaits du résultat, et étaient convaincus d'utiliser le processus de conception intégrée dans leurs futurs projets (IEA Task 23, 2002).

4.4 Construire l'isolation thermique de l'enveloppe du bâtiment

La technologie

L'isolation thermique est une technique importante de réduction de consommation d'énergie dans les bâtiments en prévenant la hausse et la perte de chaleur qui peut se faire à travers l'enveloppe du bâtiment. Elle est constituée de matériaux de construction ayant une conductivité thermique très faible, souvent inférieure à 0,1W/MK. Ces matériaux n'ont « pas d'autre objectif que de sauver de l'énergie, protéger et procurer du confort à ses occupants» (Isolation et efficacité énergétiques: protéger l'environnement et améliorer les vies, 2005/Insulation and Energy Efficiency: Protecting the Environment and Improving Lives, 2005). Parmi les multiples formes et modalités d'applications de l'isolation thermique, cette section se concentre sur celles qui sont le plus communément utilisées pour les enveloppes des bâtiments, c'est à dire les sols, les murs et le toit; et qui possèdent un potentiel de transfert de technologie sud-sud. Cela inclut des produits d'isolation industriels et l'utilisation d'éléments naturels comme isolants thermiques.

Les produits d'isolation industriels sont classés en trois groupes généraux: les fibres minérales, les matières plastiques alvéolaires et les dérivés végétaux/animaux.

Les produits de fibres minérales inclus: la laine de roche, la laine de laitier, la laine de verre. Ils peuvent provenir de déchets recyclés. Ces matériaux sont fondus à haute température, filés en fibres auxquels on ajoute un agent collant pour former des plaques rigides et des panneaux d'isolation. Si elles sont collectées dans des conditions appropriées, les fibres minérales peuvent être réutilisées et recyclées à la fin de leur vie.

Les matières plastiques alvéolaires sont dérivées du pétrole. Elles incluent: le polyuréthane rigide, le phénol, le polystyrène expansé et le polystyrène extrudé. Les produits sont disponibles en vrac, en plaques rigides et en mousse. Dans le passé, le processus de production incluait des agents nuisant à la couche d'ozone tels que les HCFC (hydrochlorofluorocarbures). Cependant, le processus de production a changé et utilise désormais des hydrocarbures neutres. Ainsi, en choisissant des produits d'isolation en plastique alvéolaires, il est important de s'assurer que les produits en question n'incluent pas l'utilisation d'agents détruisant la couche d'ozone dans leur processus de fabrication. Les matières plastiques alvéolaires peuvent être recyclés mais cela nécessite une procédure lourde. Il est plus facile d'incinérer ces matières en fin de vie et de récupérer l'énergie.

Les dérivés végétaux/animaux incluent: les fibres de cellulose, la laine de mouton, le coton et le lin. Ces produits ont une faible « énergie grise », car ils peuvent être obtenus à partir de matières premières renouvelables. Les produits sont disponibles sous forme de fibres, pâtes ou contreplaqués. Leur production inclue des traitements chimiques pour assurer certaines qualités telles que la résistance au feu et la protection contre les parasites. En fin de vie, il est difficile d'utiliser ces matériaux pour récupérer de l'énergie via l'incinération.

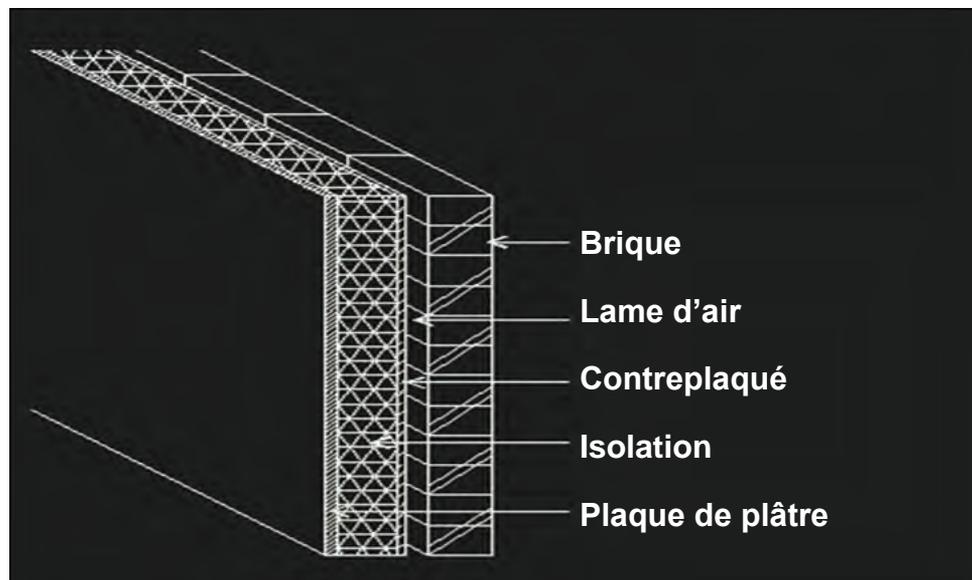
La construction d'une enveloppe d'isolation thermique est une technologie qui contribue efficacement aux performances énergétique des bâtiments. Deux nouvelles tendances ont récemment été observées dans le développement des isolants thermiques: le développement de matériaux à changement de phase (MCP) et l'utilisation innovante de matières premières naturelles comme isolants thermiques.

Les matériaux à changement de phase (MCP) sont des matériaux basés sur le principe d'accumulation de chaleur latente. « Quand la température augmente, la température de l'accumulateur de chaleur latente n'augmente pas, mais le medium change d'état physique. Cela signifie alors qu'il stocke de l'énergie. Par conséquent, cette accumulation d'énergie ne peut pas être détectée au toucher. La température n'augmente de manière visible qu'après un changement complet d'état. Lorsqu'il y a un changement d'état, la chaleur latente est égale à la chaleur de fonte ou de cristallisation du support de stockage. L'avantage des MPC réside dans le fait qu'une grande quantité de chaleur ou de fraîcheur peut être stockée, même si l'échelle de variation de température est faible. » (Hausladen et al., 2005)

Parce que l'état change, de l'état solide à l'état liquide, les MCP (comme la paraffine) doivent être prioritairement encapsulés pour être utilisés. Les MCP à base de paraffine ont des points de fusion compris entre 24 et 26°C et sont généralement utilisés pour prévenir l'augmentation de température par temps chaud (Hausladen et al., 2005). Les MCP à base de paraffine encapsulés sont mixés avec des mortiers appliqués sur les enveloppes des bâtiments. Associés à des stratégies de refroidissement nocturne (voir la Section 4.1), les MCP peuvent être efficaces pour prévenir le gain de chaleur via l'enveloppe du bâtiment. Actuellement, les MCP ne sont toujours qu'en phase de recherche et développement et de test. Ces technologies sont prometteuses car elles sont légères, facile à appliquer et s'associent bien avec les méthodes de construction conventionnelles.

La seconde tendance en plein développement est l'utilisation innovante de matières premières naturelles comme isolants thermiques, par exemple l'utilisation de bottes de foin non traitées. Pour prévenir les risques d'incendie, les bottes de foin sont prises en sandwich entre des matériaux de bardage résistants au feu, tels que des bardages à base de métal. On peut aussi utiliser des panneaux de verre pour créer des effets esthétiques en rendant visibles les bottes de foin. Un autre élément naturel utilisé dans l'isolation thermique est l'air, qui possède une conductivité thermique d'environ 0,025W/MK. Son utilisation est souvent faite via des lames d'air creusées dans les cavités du mur pour augmenter les performances d'isolation thermique. L'utilisation de lames d'air n'est pas suffisante pour des bâtiments des régions tempérées, mais peut être suffisante en climat doux.

Figure 4.4.1: Une lame d'air utilisée en combinaison avec un mur isolé en bois/brique



Prérequis de l'application

Les produits d'isolation de l'enveloppe thermique sont utilisés en association avec des matériaux d'isolation des sols, murs et toits/plafonds pour les bâtiments neufs, et pour la rénovation.

Contrairement au cas des bâtiments neufs, pour lesquels il suffit de créer une enveloppe d'isolation thermique, pour les rénovations, il est crucial d'identifier les localisations exactes d'isolation thermique. Ces localisations clés sont:

1. Le toit: il faut pouvoir l'isoler avec des plaques rigides entre/sous les poutres ou les solives.
2. L'espace du toit (dans les régions tempérées): prévoir un plafond avec des plaques de plâtre isolantes
3. La maçonnerie massive ou les murs en béton: isoler à l'extérieur avec des plaques rigides couvertes par des matériaux de bardage résistants à l'eau; fournir des revêtements avec des plaques de plâtre d'isolation rigides.
4. Les cavités des murs: injecter des fibres isolantes; fournir un revêtement interne constitué de plaques de plâtre.
5. Sol en béton (dans les régions tempérées): isoler avec des panneaux rigides sous la nouvelle chape et le fini à plancher.
6. Plancher bois surélevé (dans les régions tempérées): isoler avec des panneaux rigides entre/sous les solives de plancher (XCO2, 2002)

Dans les deux cas (constructions neuves ou rénovation), il est important d'identifier et de chercher les meilleures conditions d'isolation thermique, de manière à ce qu'ils puissent atteindre leurs objectifs de performance tout au long de la vie du bâtiment.

1. Les fibres minérales sont disponibles en vrac, en pâtes et en rouleaux. Elles peuvent être utilisées hors du site ou sur le site de la construction. En raison de leur structure ouverte, les produits sont perméables à l'eau et à la vapeur, ce qui risque d'altérer leur qualité d'isolants thermiques. C'est pourquoi, il est nécessaire de fournir des emballages d'aluminium et de bonnes finitions pour

prévenir l'exposition éventuelle des produits à la vapeur ou à l'eau. Ils peuvent aussi être sujets à de la condensation entre les panneaux/cloisons murales et les panneaux d'isolation, et/ou les conduites d'eau intégrées dans le mur.

2. Les plastiques alvéolaires sont considérés comme des matériaux durables. Ils ne sont pas susceptibles d'être affectés par l'humidité ou l'infection de parasites. Les plastiques alvéolaires se présentent en plaques rigides mais aussi sous forme de mousse pulvérisée à l'intérieur de l'enveloppe de construction. Les isolants à vaporiser sont appliqués sous forme liquide, en utilisant un tuyau et un pistolet de pulvérisation. La combinaison de deux substances collant au contact l'une de l'autre, se transforme en une mousse épaisse après quelques secondes. L'isolant peut être pulvérisé après l'installation des systèmes électriques et de la plomberie puisqu'ils s'étendent en durcissant, comblant alors tous les trous.
3. Les produits dérivés végétaux/animaux sont plus sujets à l'infection de parasites. Malgré l'application de nombreux traitements lors du processus de fabrication, ces derniers sont susceptibles d'être inefficaces dès lors que les produits sont exposés à une forte humidité. Il est nécessaire de prévenir ce problème en prévoyant une plus grande quantité de matériaux, de bonnes finitions et en évitant d'exposer les produits à l'humidité.

Quels que soient les types d'isolation d'enveloppe thermique, il est indispensable de soigner les détails et les finitions pour prévenir les fuites d'air. Puis, lors de la pose des matériaux isolants, prêter attention aux prises électriques et aux câbles présents à l'intérieur des murs, en coupant et en adaptant les isolants pour clôturer étroitement la structure du mur.

Par ailleurs, dans des conditions climatiques extrêmes, il est recommandé d'effectuer des contrôles des enveloppes de construction avec l'attention prêtée à l'isolation thermique, plus particulièrement pour les bâtiments de grande taille.

État d'avancement de la mise en œuvre et pénétration du marché

Les produits de construction de l'enveloppe thermique ont été largement utilisés dans les régions tempérées. Dans de nombreux pays développés et industrialisés, l'isolation thermique est un prérequis garantissant l'efficacité énergétique et la santé des occupants. Ainsi, le marché de l'isolation thermique est assez constant. Dans les pays chauds et au climat humide/tropical, le marché des matériaux d'isolation thermique n'est pas très développé. La ventilation naturelle, pas l'étanchéité, est une stratégie plus appropriée au confort thermique. Dans ce contexte, l'utilisation d'isolants thermiques n'est pas nécessaire. Par contre, l'utilisation de lames d'air dans les cavités des murs sur les façades ouest, prévenant l'augmentation de la température quand le soleil de l'après-midi chauffe très fort, se révèle efficace. Par exemple, aux Caraïbes, l'isolation de toit a généralement été admise comme « une solution de conservation d'énergie » avec la fibre minérale (verre) généralement comme matériau principal (Escalante, 2007).

La faisabilité de la mise en œuvre

Dans les pays développés et industrialisés, les règlements d'urbanisme incluent des critères pour garantir un niveau minimal d'isolation dans les enveloppes des bâtiments. Cela permet de déployer de nombreuses technologies d'isolation thermique. Cependant, ce n'est généralement pas le cas dans de nombreux pays en développement, plus particulièrement dans les pays les moins développés et dans les zones rurales reculées. Par conséquent, pour permettre l'implantation à grande échelle des technologies d'isolations thermiques dans ces pays, il est indispensable de mettre en place des politiques d'incitation constituées de mesures incitatives et obligatoires.

En outre, le processus de production de plastique alvéolaire, présenté précédemment, intègre l'utilisation d'agents détruisant la couche d'ozone tels que les HCFC, récemment remplacés par des hydrocarbures plus neutres. En sélectionnant des plastiques alvéolaires, il est important de s'assurer que les produits en question, dans le processus de production, ne sont pas associés à des agents détruisant la couche d'ozones. Cela peut se faire de manière plus efficace si des réglementations locales sont en places, pour bannir ces produits associés à des processus de fabrication intégrant des agents nocifs pour la couche d'ozone.

Les exigences spécifiques des produits d'isolation thermique pour l'enveloppe des bâtiments incluent des conceptions détaillées appropriées, des finitions de qualité et un choix de produits approprié, des méthodes de manutention et d'installation. Par conséquent, il est nécessaire de renforcer les compétences des intéressés via des ateliers pour former les professionnels et la main d'œuvre de l'industrie du bâtiment.

Les contributions au développement social, économique et environnemental

La première contribution à l'isolation thermique de l'enveloppe du bâtiment est de fournir un confort thermique à ses habitants. Cela entraîne des environnements de vie sain et une meilleure productivité des employés sur les lieux de travail.

L'isolation thermique permet d'éviter les pertes ou gains de chaleurs indésirables. Cette régulation se fait via l'enveloppe du bâtiment, ce qui contribue à diminuer la quantité d'énergie nécessaire pour refroidir ou réchauffer les bâtiments. C'est ainsi une mesure d'atténuation qui contribue à la réduction des gaz à effet de serre.

Il est démontré que le développement des techniques d'isolation thermique à grande échelle agit comme un stimulus économique. En Europe seulement, environ 12000 entreprises emploient 400 000 personnes dans la chaîne de production de matériaux issus de plastiques alvéolaires (ISOPA et Polyuréthanes, 2009). Les opportunités de développement d'entreprises dans le secteur sont nombreuses et génératrices d'emploi pour les pays en développement. Cela nécessite que des programmes de transmission des techniques de construction d'enveloppe thermique nord-sud et sud-sud soient déjà en place.

Besoins financiers

Pour l'isolation thermique de l'enveloppe des bâtiments, les besoins financiers se répartissent entre les coûts des produits et leur mise en place.

Les coûts des produits et d'installation de l'isolation thermique sont calculés par rapport à l'unité de surface et de conductivité thermique. Étant plus faciles à installer, les frais de pose des produits en vrac sont moins élevés que pour les autres matériaux d'isolation. Cependant, le risque d'être affecté par l'humidité et les parasites, fait que leur durée de vie sur le long-terme est à prendre en considération.

Les coûts de maintenance des produits d'isolation thermique sont très faibles et quasiment nuls pour les produits issus des plastiques alvéolaires. Quant aux fibres minérales et aux isolants végétaux/animaux, ils ne sont pas aussi résistants. Leur conductibilité thermique augmente avec l'humidité et la présence de parasites. Il faut donc les remplacer.

Pour les bâtiments naturellement ventilés en climats doux, les méthodes d'isolation du toit et des murs orientés à l'ouest, se révèlent les plus efficaces pour prévenir l'augmentation de la chaleur dans l'enveloppe

du bâtiment. Les retours sur investissement sont colossaux, par rapport à un dispositif d'isolation appliqué sur la totalité de l'enveloppe du bâtiment.

L'utilisation de bottes de foin et de lames d'air (dans les cavités du mur) entraîne des coûts insignifiants, excepté lorsqu'ils servent à épaissir les murs. Toutefois, la performance à long-terme est à considérer. Dans les pays développés et industrialisés, les produits à base de fibres minérales sont plus compétitifs financièrement comparés aux produits à base de plastiques alvéolaires et aux produits dérivés végétaux/ animaux. Cependant, dans les pays en développement et dans les zones rurales, les produits dérivés végétaux/ animaux sont plus intéressants financièrement. Ces matières premières sont disponibles et accessibles. Les plastiques alvéolaires sont rigides, stables et efficaces sur le long terme. Ce sont ceux qui nécessitent le moins de coûts de maintenance.

Étude de cas

SOLANOVA, Dunaujvaro, Hongrie:

Le projet a été soutenu par la Commission Européenne en 2003 comme exemple de meilleures pratiques d'efficacité énergétique dans la rénovation de bâtiments résidentiels. Le projet pilote consistait à remettre à neuf un immeuble résidentiel de la ville de Dunaujvaros datant des années 1970. Le bâtiment était constitué de commerces au rez-de-chaussée, et de 45 unités de logements réparties sur 7 étages. Il était fait de panneaux de bétons préfabriqués industriellement. Parmi les nombreux dispositifs énergétiques, la rénovation incluait l'utilisation d'une isolation thermique constituée des éléments suivants: 160mm d'épaisseur de polystyrène pour isoler le mur, 100mm de polystyrène pour isoler le plafond de la cave, et 300mm d'épaisseur de toiture végétalisée pour l'isolation du toit. De telles mesures d'isolation thermique contribuent parfaitement à une réduction finale de 80% de la demande d'énergie pour chauffer l'espace, atteignant un objectif de 30-40kWh/m²/an. C'est une amélioration significative, comparé aux 220kWh/m²/an avant la rénovation (Hermeling, 2006).

La Maison de Hambourg, EXPO 2010, Shanghai

La Maison de Hambourg de l'EXPO 2010 à Shanghai – Dans la catégorie Meilleures pratiques urbaines - met en valeur la conception et les technologies vertes venues d'Allemagne dans le domaine de la construction qui sont applicables en Chine. La Maison a été conçue et réalisée avec des super isolants dans toute son enveloppe, suivant l'un des nombreux et stricts principes pouvant répondre aux normes de la maison passive. Les murs et le toit du bâtiment ont été isolés avec l'isolant thermique Neopor® - un nouveau produit de la société allemande BASF. Ces panneaux isolants (avec une épaisseur allant jusqu'à 18 cm) sont des produits isolants à base de plastiques cellulaires qui offrent un facteur d'isolation jusqu'à 20% plus élevé que les panneaux de polystyrène expansé classiques (BASF Asie-Pacifique, 2010). Une attention particulière a été prêtée aux détails de construction et à la finition de l'installation, afin de livrer un bâtiment entièrement étanche et d'éviter les ponts thermiques à travers l'enveloppe du bâtiment. Ce choix d'isolation thermique a contribué à la consommation énergétique ultra performante de la maison, de moins de 15 kWh/m²/an, tout en maintenant une température intérieure constante de 25°C tout au long de l'année (Lu, 2010).

La Maison, qui est un cadeau de Hambourg à la ville de Shanghai, est une structure permanente de l'Expo. C'est une source importante d'inspiration en terme de stratégies de conception et de technologies vertes pour les professionnels locaux liés à la construction. La Maison est un exemple tangible de transfert de technologies nord-sud, dans ce cas précis, de l'Allemagne à la Chine.

4.5 Systèmes haute performance pour façades de bâtiments

La technologie

La façade du bâtiment tient lieu d'interface entre les environnements externe et interne de celui-ci. Par conséquent, elle a un grand impact sur:

1. L'interface des occupants avec le milieu environnant;
2. L'efficacité énergétique et la performance de la qualité environnementale à l'intérieur d'un bâtiment, tels que les charges énergétiques de l'éclairage et du CVC.
3. Charge de pointe pour maintenir un bon niveau d'éclairage et de confort thermique pour des occupants.

La haute performance des systèmes de façade du bâtiment implique la sélection et la mise en œuvre de matériaux adéquats, de technologies de pointe, d'une bonne installation et de bonnes finitions; tous ces éléments doivent tous être adaptés au contexte et aux fonctions.

Photo 4.5.1: Façade utilisée comme interface entre les environnements externe et interne de la maison



En raison de leurs rôles multiples et importants – à savoir, l'esthétique, le confort thermique, la qualité de l'éclairage de jour, la connexion visuelle à l'environnement extérieur, la performance acoustique et les performances énergétiques – les façades de bâtiments, en particulier les systèmes de vitrage, ont fait l'objet de beaucoup d'attention dans la recherche et le développement. Il en résulte une large gamme de produits et de technologies disponibles pour réaliser des systèmes de haute performance.

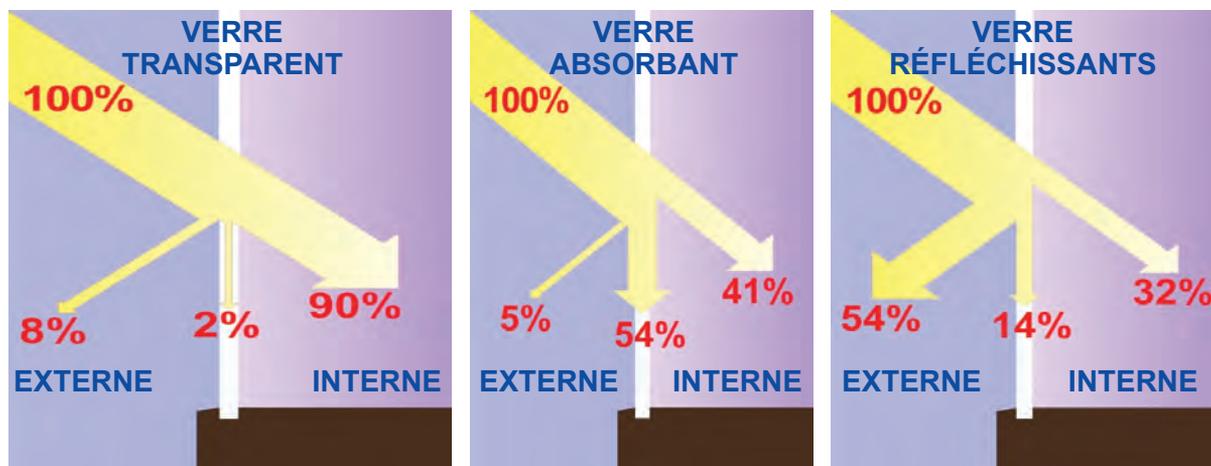
Photo 4.5.2: Une grande variété de façades souvent présente dans le tissu urbain, comme par exemple à Hong-Kong sur cette photo



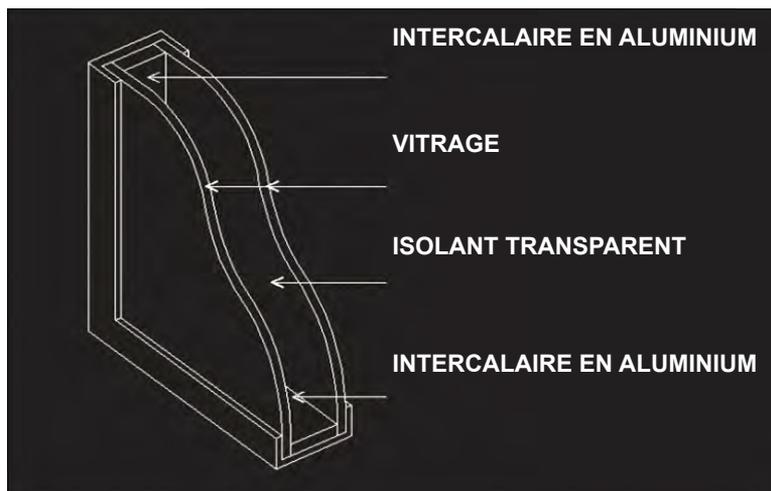
Les parois solides: les parois solides extérieures, basées sur des matériaux lourds de construction, ont été considérées comme ayant une meilleure performance énergétique. L'hypothèse est principalement fondée sur le changement des conditions de la charge maximale ou sur une réduction globale en termes de gain/perte de chaleur. Toutefois, ces présomptions ont été contestées par le développement récent de la technologie en science des matériaux et la thermodynamique; par exemple, les matériaux à changement de phase. Actuellement, il existe un large éventail de systèmes de parois solides à haute performance: par exemple les parois creuses isolées (150-250 mm d'épaisseur) et les panneaux composites (avec des matériaux d'isolation intégrés d'une faible épaisseur de 75 mm).

Pour créer des parois solides plus minces avec une meilleure performance thermique, des « peintures froides » ont récemment été développées. Comparées à la surface extérieure classique, les peintures froides aident considérablement à réduire le gain de chaleur à travers leur réflectivité solaire élevée lorsqu'elles sont appliquées sur les façades des bâtiments. L'utilisation de peintures froides est faisable dans les régions climatiques chaudes.

Les systèmes de vitrage: Il y a un intérêt croissant pour les matériaux de verre et les technologies de détails qui se manifestent dans les systèmes de vitrage ayant une grande capacité d'interrompre le gain/la perte de chaleur tout en permettant une diffusion maximale de la lumière. La figure 4.5.2 illustre les différents systèmes de vitrage avec leurs diffusions de lumière respectives (le pourcentage de lumière transmise à travers un panneau vitré dans un espace intérieur). Une technologie de matériaux récemment mise au point consiste à appliquer une fine couche d'oxyde métallique clair sur une surface de verre afin de permettre une réduction de l'émission des infrarouges, ce qui générerait du "verre à faible émissivité".

Figure 4.5.3: Les diffusions de la lumière des différents types de verre et des combinaisons de vitrages

Les technologies et les solutions d'amélioration de la performance thermique des systèmes de vitrage comprennent l'insertion d'un isolant « transparent », par exemple, le gaz inerte, l'air sec, le sous vide, l'argon, ou le krypton, entre les vitres afin de fournir une bonne isolation thermique pour réduire la conductibilité thermique. Si la lame d'air est plus large, l'isolation d'un tel système à double vitrage est plus forte. Le triple vitrage a également été utilisé pour atteindre de meilleures performances thermiques. L'avantage supplémentaire des systèmes à doubles et triples vitrages est l'excellente performance acoustique, qui est un avantage additionnel pour les bâtiments situés dans des environnements bruyants.

Figure 4.5.4: Système à double vitrage

Grâce à la disponibilité des différents types de verre et des différentes combinaisons, des applications innovantes ont conduit au développement de systèmes de vitrage intelligents. Par exemple, le système de vitrage qui ajuste automatiquement son opacité pour répondre aux conditions d'éclairage extérieur, conduisant à une performance d'éclairage naturel intérieur optimisé et au contrôle de l'éblouissement. Un tel système se base sur l'utilisation des technologies de verre photochromique.

Figure 4.5.5: Verre photochromique (à gauche) et verre transparent (à droite) dans un milieu à fort éclairage naturel



Un autre exemple concerne la « fenêtre intelligente » avec un vitrage électrique, dans lequel un film de cristal liquide est placé entre les vitrages et est contrôlé par un champ électrique pour aligner les cristaux afin que la vitre puisse devenir claire, ou pour désaligner les cristaux afin que la vitre devienne dépolie (Liebard et al., 2010). La recherche et le développement actuels des systèmes de vitrage comprennent également l'intégration de film photovoltaïque à couche mince, de sorte qu'une façade de bâtiment puisse offrir une fonction supplémentaire de production d'électricité. Cependant, cette technologie est encore trop coûteuse pour la pénétration à grande échelle dans le marché.

L'un des systèmes émergents de vitrage est la façade double peau, composée de deux couches de vitrage disposées avec une cavité intermédiaire aérée de 0,2 à 2 m. Pour une cavité plus large, soit 0,6 m ou plus, des passerelles métalliques perforées sont généralement installées pour faciliter le nettoyage et l'entretien. Les dispositifs de protection solaire, tels que les stores, peuvent être installés dans la cavité ventilée. Le vitrage isolant est utilisé comme une enveloppe intérieure. La ventilation dans l'espace de la cavité d'air peut être naturelle (par exemple, le vent et/ou la flottabilité) ou mécaniquement assistée, (comme avec un ventilateur d'évacuation). La lame d'air ventilée joue le rôle d'un espace multifonctionnel. En plus d'être utilisée comme accès pour l'entretien et d'assurer l'ombrage, l'entrée/ sortie de la cavité d'air peut être fermée pendant un hiver froid, servant ainsi de couche d'isolation supplémentaire. La cavité peut également être utilisée pour préchauffer le conduit d'air frais, avant d'être fourni à l'unité de traitement d'air. Lors des étés particulièrement chauds, la ventilation naturelle peut se faire à l'intérieure pour extraire l'air chaud dans la cavité. (Liebard et al., 2010).

Les exigences de l'application

Les systèmes de façades à haute performance doivent être appropriés au milieu; par exemple, la conception en tenant compte des conditions climatiques locales, l'orientation solaire, la direction des vents dominants, la vue, la sécurité, l'acoustique, la nature de l'occupation, et ainsi de suite. « Étant donné que les besoins climatique et ceux des occupants sont des variables dynamiques, la solution de façades de bâtiments à haute performance doit avoir la capacité de répondre et de s'adapter à ces conditions extérieures variables et aux besoins changeants des occupants » (LBNL, 2006). Voici les exigences clés de l'utilisation:

Le ratio mur à fenêtre: est une règle simple pour la conception de façades de bâtiments à haute performance qui tient compte de la condition climatique et de l'orientation solaire. Dans les régions tempérées, il est logique d'avoir un faible ratio mur à fenêtre, étant donné que le système permettra la pénétration en profondeur de la lumière du jour dans l'espace interne d'un bâtiment et l'accessibilité à la lumière du soleil pendant les mois froids d'hiver. Dans les zones climatiques chaudes, il est moins logique d'avoir un faible ratio mur à fenêtre vu que la lumière du soleil est très prononcée, la lumière du ciel est forte, et les zones fenêtre/vitrage sont les points faibles en termes de gain de chaleur du bâtiment. En suivant le même principe, un ratio mur-à-fenêtre élevé sur une façade donnant à l'ouest offre une meilleure performance thermique. Cela est dû au fait que les espaces intérieurs du bâtiment sont protégés des rayons chauds du soleil.

L'intégration de dispositifs de protection solaire: est essentielle pour les systèmes de vitrage ou les zones de vitrage exposés au soleil. Les dispositifs de protection solaire éloignent les rayons solaires des surfaces vitrées, améliorent l'efficacité de la protection solaire des façades, et réduisent la transmission thermique du système de façades.

Figure 4.5.6: Dispositifs de protection solaire intégrés au motif traditionnel comme expression du design architectural pour le bâtiment du Ministère malaisien des Finances à Putrajaya, Malaisie



Étanche à l'air, mais qui puisse s'ouvrir: le souci de la transmission thermique à travers les façades des bâtiments a conduit à faire appel à la construction étanche à l'air. En outre, la construction étanche à l'air peut être nuisible à d'autres performances environnementales du bâtiment, telles que la ventilation naturelle et la capacité du bâtiment à continuer à fonctionner pendant les coupures d'électricité ou les dysfonctionnements de CVC (chauffage, ventilation, climatisation). D'autre part, la construction étanche à l'air a récemment été critiquée car elle représente un facteur contribuant à la mauvaise qualité de l'air intérieur et au syndrome des bâtiments malsains (Passarelli, 2009). Afin d'atténuer ces problèmes, il est préférable de fournir des fenêtres/vitrages ouvrants dans le cadre de systèmes de façades étanches à l'air, donnant aux occupants un certain niveau de contrôle. Par exemple, les fenêtres ouvrantes à haute performance à double ou triple vitrage.

Figure 4.5.7: Fenêtre ouvrante à double vitrage

La ventilation nocturne peut être utilisée pour les façades à double épaisseur en raison de la protection supplémentaire- des deux couches de la peau et de la cavité- contre les intempéries. Elle est applicable dans les zones climatiques chaudes, pendant les mois d'été dans les régions tempérées et dans les bâtiments commerciaux, qui sont pré-refroidis pendant la nuit en utilisant la ventilation naturelle. De cette façon, les températures intérieures seront plus basses au cours des premières heures du matin, ce qui réduit la nécessité de la climatisation et la charge de refroidissement qui lui est relative (Poirazis, 2006).

La condensation sur les fenêtres à double-vitrage. Il existe trois types courants de la condensation sur les fenêtres à double vitrage: extérieure, intérieure et entre les deux. La condensation intérieure est souvent causée par une forte humidité interne combinée à une température extérieure faible, ce qui refroidit la surface de vitrage intérieur en dessous du point de rosée. La condensation se forme sur la surface extérieure du verre lorsque la température de la vitre descend en dessous de la température extérieure du point de rosée. L'utilisation de verre à faible émissivité peut restreindre l'échange de chaleur à travers la couche d'air entre les deux vitrages, ainsi le vitrage interne est gardé chaud, ce qui réduit les risques de formation de condensation intérieure. En même temps, le vitrage extérieur n'est pas chauffé en raison de la transmission de chaleur à partir du vitrage intérieur, ce qui réduit les risques de formation de condensation extérieure. Enfin, lorsque la condensation se forme sur les surfaces en face de la lame d'air entre les deux vitrages, cela est une indication d'une fuite dans la cavité d'air, où l'air humide pénètre dans la zone de la cavité et forme une condensation. Le système à double vitrage, dans ce cas, ne fonctionne pas comme prévu.

La solution d'auto-nettoyage de façade dioxyde de titane (TiO_2) peut être appliquée aussi bien sur les parois solides que sur le système de vitrage. Le TiO_2 est un type de photo-catalyseur. Lorsqu'il est exposé à la lumière du soleil, le TiO_2 active ses molécules d'oxygène pour décomposer les germes, les bactéries et la matière organique. Par conséquent, en appliquant un revêtement de TiO_2 sur des surfaces de façades

extérieures; comme les revêtements en aluminium, le carrelage mural, le verre, etc., la façade peut remplir la fonction d'auto-nettoyage. Cela permet de réduire les besoins d'entretien et de nettoyage.

La mise en service de l'enveloppe du bâtiment. Vu que l'enveloppe du bâtiment est l'un des éléments les plus essentiels qui déterminent la performance thermique et énergétique du bâtiment, il est utile, pour les bâtiments de grande envergure et les bâtiments avec des systèmes de façades complexes, d'avoir la mise en service de l'enveloppe du bâtiment, afin de préserver sa fabrication, sa durabilité et d'autres performances environnementales.

Figure 4.5.8: Bâtiment possédant une combinaison de façades complexes, situé au Newseum, Washington DC, USA

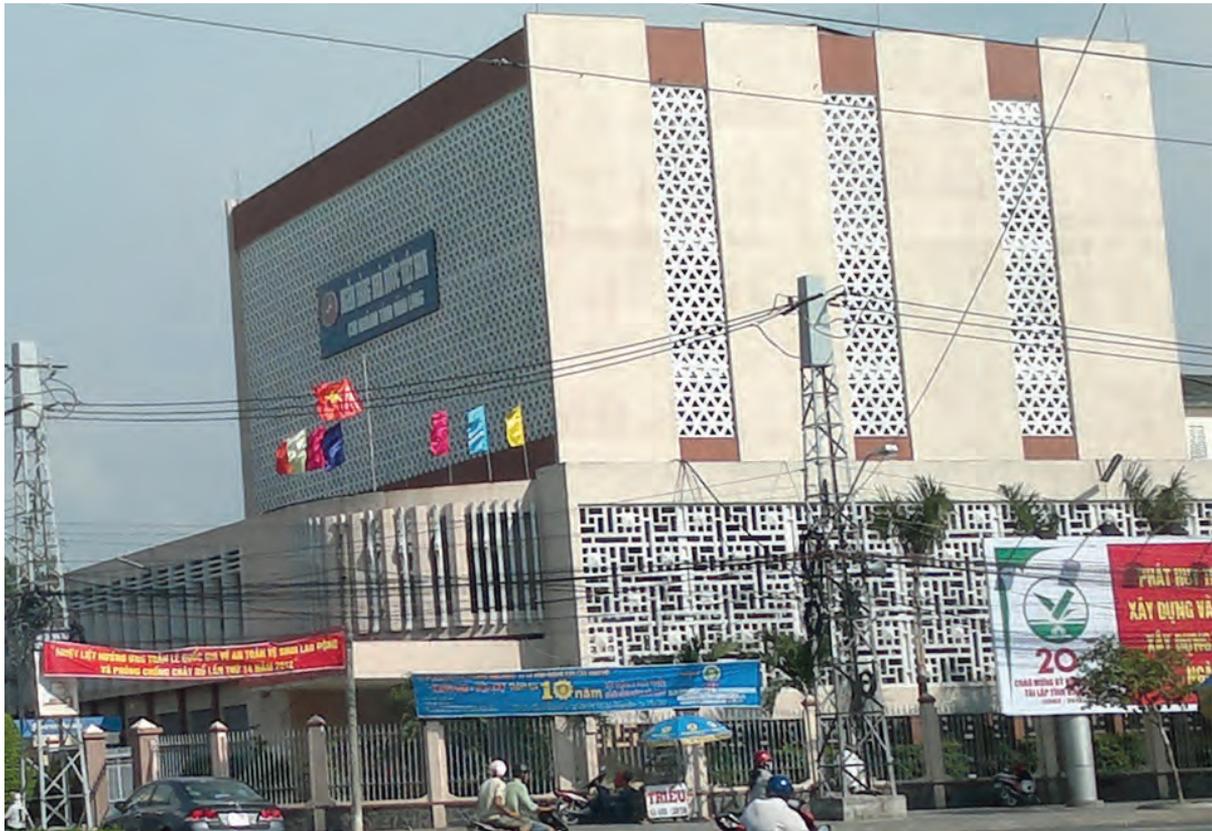


État d'avancement de la mise œuvre et pénétration du marché

Des formes plus de systèmes de façades à haute performance, comme par exemple les murs creux isolés, les peintures froides, le double vitrage et le verre à faible émissivité, sont déjà devenues dominantes dans de nombreuses régions à travers le monde. D'autre part, le marché des systèmes sophistiqués de façades - c.à.d. les systèmes à triple-vitrage, les systèmes de façades double-peau, l'utilisation du verre photochromique et le vitrage électrique, etc. - est limité aux bâtiments haut de gamme. Les systèmes de façades double-peau sont coûteux et généralement appliqués dans des projets commerciaux haut de gamme, étant donné qu'ils sont esthétiquement attrayants et qu'ils projettent une image de transparence et d'ouverture que les entreprises aiment donner au public.

Dans les régions tempérées, les parois solides aussi bien que les systèmes de vitrage à haute performance sont une pratique courante et ont bien pénétré le marché. Les murs creux isolés se trouvent dans de nombreux bâtiments résidentiels, tandis que les panneaux composites et les systèmes de façades double-peau sont plus populaires dans les bâtiments commerciaux. Dans les régions chaudes et arides, les murs solides - avec une capacité de stockage thermique élevée - ont été largement utilisés. Dans les zones chaudes et humides près de l'équateur, l'utilisation des technologies de façade à faible transmission thermique et la construction étanche à l'air ne sont pas populaires, en raison de l'adéquation de la ventilation naturelle dans ces conditions climatiques.

Figure 4.5.9: Application de la paroi solide en combinaison avec la ventilation naturelle et la pénétration de la lumière du jour pour une banque à la ville de Vinh Long, Vietnam



Faisabilité de la mise œuvre

Parce qu'une façade de bâtiment est une nécessité pour chaque bâtiment, un lancement à grande échelle des systèmes de façades de bâtiments à haute performance est très réalisable et se base sur:

1. La conception d'un rapport mur-à-fenêtre approprié comme mesure rentable pour que les bâtiments soient développés de manière judicieuse quant à leur orientation.
2. La sensibilisation à l'importance et aux avantages de l'installation des systèmes de façades de bâtiments à haute performance. La disponibilité de projet (s) de démonstration, issu(s) du secteur public, du secteur privé, ou des deux combinés, est particulièrement utile à cette fin. Les groupes cibles comprennent les promoteurs immobiliers, les propriétaires, les locataires, les professionnels du bâtiment et le public.

3. Le fait de rendre les codes et les règlements locaux de construction - liés à la performance thermique et à la performance de l'éclairage naturel des systèmes de façades de bâtiments - plus stricts au fil du temps. Il est important d'avoir des codes et des règlements fondés sur la performance plutôt que des codes et règlements à caractère normatif, de sorte qu'il soit possible de développer de nouvelles technologies et des conceptions innovantes. La limite de la valeur maximale du transfert thermique global (VTTG) ou la valeur du transfert thermique de l'enveloppe (VTTE) est un exemple de la réglementation basée sur la performance pour contrôler les performances thermiques des façades des bâtiments dans de nombreux gouvernements locaux et nationaux; par exemple en Malaisie, à Singapour, et dans de nombreuses villes de Chine.

Figure 4.5.10: Faible VTTE de la façade du bâtiment rendue possible grâce à un ratio mur-à-fenêtre approprié, dispositifs de protection solaire suffisants parmi d'autres technologies pour les bâtiments situés dans les tropiques



Dans les endroits où les systèmes de façades de bâtiments à haute performance ne sont pas utilisés ou ne sont pas courants, il est utile de commencer par effectuer des recherches et du développement pour déterminer la disponibilité des matériaux et les types de systèmes de façades qui sont appropriés au contexte local, y compris les conditions climatiques, les modèles et les normes de comportements des occupants du bâtiment définis par la culture locale et les valeurs sociales, etc. Les résultats serviront de références pour de la recherche et du développement plus poussée sur les conceptions et la mise en œuvre de systèmes de façades innovants. Le renforcement des capacités est ensuite mis en instauré

afin d'améliorer les connaissances des professionnels et former une main-d'œuvre compétente pour la conception, l'installation, l'exploitation et la maintenance des systèmes de façades de bâtiments à haute performance.

Contributions au développement social, économique et environnemental

Les systèmes de façades de bâtiments à haute performance offrent un gain et/ou une perte de chaleur moindre et réduisent ainsi les charges de refroidissement et/ou de chauffage d'un bâtiment. Il en découle des économies d'électricité à partir des opérations CVC et l'amélioration du confort thermique des occupants.

Les systèmes de vitrage de façades bien conçus et bien installés aboutissent à une bonne pénétration de la lumière du jour aux espaces internes d'un bâtiment sans créer d'effet de glaçage. Cela contribuera également à économiser de l'énergie en réduisant l'utilisation de l'éclairage artificiel. Les systèmes de vitrages de façades offrent également aux occupants des vues sur l'extérieur et améliorent la qualité du milieu de vie ou de travail.

Figure 4.5.11: Pénétration de la lumière du jour à travers un système de vitrage de façade à haute performance



L'application d'une solution d'auto-nettoyage des façades sur la surface externe des systèmes de façades de bâtiments signifie que le besoin de nettoyage est moins fréquent. Cela se traduit par des économies en termes des coûts de l'eau et de l'entretien.

La construction étanche à l'air, combinée aux systèmes de façades à haute performance, fournit aux occupants un certain niveau de contrôle, améliore la qualité de l'air intérieur, réduit le syndrome des bâtiments malsains, améliore la santé des occupants, et contribue à la productivité des occupants dans les bâtiments commerciaux.

Besoins financiers

Parce qu'une façade est une composante nécessaire d'un bâtiment, les besoins financiers dépendent du choix du système de façades. Par exemple, en général, le coût d'une paroi solide est inférieur à celui d'un système de vitrage. Toutefois, cela peut ne pas être vrai pour les revêtements haut de gamme et légers des panneaux sandwich hyper-isolants (généralement composés de deux peaux en aluminium et d'un noyau en laine minérale), qui coûtent entre 300 \$ - 450 \$/m² à Singapour (DLS, 2009). Ceci est à peu près le double du coût d'un système à double vitrage avec verre à faible émissivité qui coûte entre 180 \$/m² - 200 \$/m² (DLS, 2009).

De même, les façades des bâtiments avec de grandes surfaces vitrées, utilisées dans les systèmes plus sophistiqués tels que les façades double-peau, les systèmes à triple vitrage, le vitrage photochromique, et le vitrage électrique, nécessitent des coûts d'investissement très élevés. Le coût peut être le double ou le triple de celui d'une façade de bâtiment à verre à faible émissivité et avec un ratio mur à fenêtre élevé.

Les coûts d'entretien et de nettoyage des systèmes de vitrage sont plus élevés comparés à ceux des parois solides. Un investissement initial, qui consiste à appliquer un revêtement de dioxyde de titane (TiO₂) sur la surface externe des systèmes de façades, peut aider à réduire les coûts d'entretien et de nettoyage, en particulier pour les systèmes de vitrage.

Étude de cas

Le siège de la Securities Commission, Kuala Lumpur, Malaisie

Le bâtiment est un immeuble de bureaux à 8 étages avec des équipements publics d'une superficie climatisée de 48500 m². Le bâtiment dispose d'une façade double-peau et d'une cavité ventilée. Le système de vitrage de la peau extérieure comprend du verre teinté écologique à faible émissivité d'une épaisseur de 12mm. La peau interne comprend du verre teinté écologique de 8mm d'épaisseur et des stores enroulables perforés et automatiques. L'espace de 800 mm de la cavité entre les deux peaux est accessible pour l'entretien avec l'aide de caillebotis horizontal. Le caillebotis horizontal est conçu pour agir comme un dispositif de protection solaire pour la zone qui est tout juste au dessous de la peau intérieure du vitrage. Le système de façade double-peau ne fournit pas uniquement un « protecteur climatique » aux températures chaudes externes, mais offre également des vues sur des environnements extérieurs tout en empêchant la pollution sonore provenant des autoroutes environnantes. Le système de façade double-peau contribue à une climatisation à faible débit. Le bâtiment a remporté le prix Asian Energy en 2001.

Édifice de la Bibliothèque Nationale, Singapour

Le bâtiment est une bibliothèque à 16 étages avec un sous-sol sur 3 niveaux. Il a une surface de plancher brute de 58,783m² abritant la bibliothèque, un centre culturel, un centre d'éducation et des espaces pour une variété d'activités publiques. Le bâtiment a été conçu en adoptant une approche bioclimatique. Sa façade à haute performance est le résultat de principes holistiques de conception qui prennent en considération l'orientation, le ratio mur-à-fenêtre, la sélection de systèmes de façades et les dispositifs de

protection solaire. La première étape vise à orienter le bâtiment de façon à maximiser l'orientation nord-sud la plus idéale. Puis, pour les façades soumises à de forts rayonnements solaires, un ratio mur à fenêtre élevé est appliqué, par exemple de 93,5% pour la façade nord-ouest. Ensuite, l'enveloppe du bâtiment est conçue pour minimiser la charge de refroidissement. Un système à double vitrage à faible émissivité est utilisé sur les deux tiers de la surface de vitrage directement exposée à un fort ensoleillement. De plus, les dispositifs de protection solaire ayant une profondeur appropriée, sont déployés pour réduire la pénétration de la lumière du soleil à travers la zone de vitrage afin de diminuer le gain de chaleur à travers l'enveloppe. Le résultat est un système de vitrage avec un maximum de transparence et un minimum d'éblouissement.

Figure 4.5.12: La valeur basse du transfert thermique de l'enveloppe (VTTE) de la façade de l'édifice de la Bibliothèque Nationale de Singapour est rendue possible via le double vitrage, le ratio mur à fenêtre approprié et le nombre nécessaire de dispositifs de protection solaire



4.6 Les technologies d'exploitation de la lumière naturelle

La technologie

Les technologies d'exploitation de la lumière naturelle sont appliquées afin de conduire la lumière diffuse à l'intérieur du bâtiment. Il existe de nombreuses méthodes et technologies disponibles pour exploiter la lumière du jour et cette section couvre trois technologies sélectives qui représentent de bonnes pratiques et sont facilement applicables dans les pays en développement. Ces technologies sont: les étagères (tablettes) lumineuses, les conduits de lumière et les puits de lumière (lucarnes). Elles peuvent être déployées de manière indépendante ou en les combinant ensemble, selon la configuration et les fonctions du bâtiment.

Étagères lumineuses. Les étagères lumineuses dans leur forme la plus simple, sont des dispositifs de protection solaire spécialement conçus, placés sur la partie supérieure des façades de fenêtres /vitrage au dessus du niveau de l'œil. Alors que les conditions d'éclairage naturel sous les étagères lumineuses près de la fenêtre sont saturées et l'éblouissement est contourné, la lumière diffuse se reflète sur le haut

des étagères lumineuses jusqu'au niveau du plafond (près de la fenêtre) et se reflète également dans les espaces intérieurs. Pour être efficace, la surface supérieure des étagères lumineuses est souvent peinte de couleur vive, ou bien avec des matériaux réfléchissants connexes, par exemple; l'acier inoxydable réfléchissant, ou même les miroirs.

Lucarnes (Puits de lumière). Les puits de lumière sont souvent situés sur le plan horizontal supérieur des bâtiments, ils canalisent et filtrent l'éclairage naturel dans le bâtiment à partir du toit ou à partir de tout niveau horizontal dans le bâtiment ayant une bonne exposition à la lumière du jour.

Conduits de lumière. Ce dispositif consiste en un dôme externe transparent, un conduit métallique réfléchissant et un diffuseur pour être installé sur le plafond. Le dôme recueille et amplifie la lumière naturelle qui est transmise à travers le conduit métallique interne réfléchissant jusqu'au diffuseur qui, lui, distribue la lumière naturelle diffuse sur l'espace interne qui se trouve en dessous.

Figure 4.6.1: Étagère lumineuse, lucarne et conduit de lumière



Étagère lumineuse

Lucarne

Conduit de lumière

Phase de développement

Ces trois technologies d'exploitation de la lumière naturelle sont des technologies éprouvées. Le développement avancé s'éloigne des caractéristiques statiques et s'oriente vers une transmission de lumière opérable, contrôlée d'une manière intelligente et diffusée sur de plus longues distances.

Étagères lumineuses. Les étagères lumineuses statiques sont généralement des dispositifs de protection solaire fixes. Elles sont des technologies éprouvées et ont été largement utilisées. Les étagères lumineuses mobiles sont contrôlées mécaniquement ou contrôlées par le moyen de capteurs afin de pister les angles du soleil à différents moments de la journée et selon les différentes saisons de l'année. Ceci est conçu pour permettre à la lumière diffuse d'entrer à l'intérieur du bâtiment, tout en préservant les zones près des fenêtres de la lumière directe et chaude du soleil d'été et des problèmes d'éblouissement.

Lucarnes. Les lucarnes sont constituées d'un vitrage (souvent isolé) soutenu par des cadres en aluminium. Les lucarnes peuvent être considérées comme des toits et sont donc exposées à des conditions climatiques extérieures, comme le soleil intense et un grand volume d'eau de pluie. Cependant, grâce à son long historique d'utilisation, la technologie a surmonté le problème de fuite d'eau et des dommages causés par la grêle, le bruit de la pluie et d'autres questions liées à l'aspect thermique. Le développement comprend l'utilisation de vitrages électriques et un détecteur d'éclairage externe et interne afin de contrôler la quantité et la qualité de l'éclairage naturel entrant à l'intérieur du bâtiment. Les puits de lumière sophistiqués

intègrent des panneaux héliostats qui traquent la lumière du soleil pour améliorer les performances de l'éclairage. A l'aurore et au crépuscule, lorsque le soleil est bas au niveau de l'horizon, l'héliostat s'aligne avec la position du soleil pour capturer et réfléchir la lumière à travers le puits de lumière/lucarne. Dans des conditions d'ensoleillement excessif, les panneaux héliostats peuvent être positionnés afin de bloquer les rayons du soleil, et réfléchissent la lumière diffuse en utilisant un matériau réfléchissant derrière chaque panneau réflecteur.

Conduits de lumière. Le principal objectif et avantage des conduits de lumière est de collecter la lumière du soleil/du jour via une petite zone occupée du toit, et de transmettre la lumière amplifiée à l'intérieur du bâtiment. Les conduits de lumière utilisent les fibres optiques dans le but de réduire la perte de lumière lors de la transmission et afin de la transmettre sur de longues distances (sur plusieurs étages par exemple).

Prérequis de l'application

Les technologies d'exploitation de la lumière naturelle peuvent être utilisées dans toutes les régions climatiques. Leurs contributions peuvent être plus percutantes dans les régions tempérées où les heures d'éclairage du jour sont courtes pendant l'hiver froid. En termes d'espaces fonctionnels, ces technologies sont plus appropriées pour les zones où certains degrés de fluctuation de l'intensité d'éclairage sont moins visibles et acceptables pour les occupants, tels que les espaces publics, l'atrium, les zones de vente au détail, les parkings, etc. (BCA, 2007). Pour les espaces fonctionnels qui nécessitent des conditions d'éclairage plus constantes, comme les laboratoires et les bureaux, les technologies d'exploitation de la lumière naturelle peuvent être utilisées en combinaison avec un éclairage artificiel afin de réduire la consommation énergétique de l'éclairage.

Afin d'améliorer la performance de l'éclairage naturel d'un espace interne, les technologies de l'exploitation de la lumière naturelle peuvent être utilisées en conjonction avec des valeurs de réflectivité élevées pour les surfaces de la pièce. En règle générale, la réflectivité des murs est supérieure à 50%, et celle des plafonds est de 80% ou plus (Ander, 2008). Comme les matériaux et les vitrages réfléchissants d'éclairage sont sensibles à la saleté (ce qui peut réduire considérablement leur performance) l'entretien et le nettoyage réguliers sont nécessaires.

Les étagères lumineuses peuvent prendre différentes formes et être installées suivant diverses positions sur la façade. Par exemple, elles peuvent être: intégrées aux dispositifs de protection solaire à l'extérieur et en face de la façade; des stores réfléchissants dans l'espace entre les systèmes de façade à double vitrage; ou peuvent être disposées à l'intérieur de la pièce. Si elles sont installées à l'extérieur, les matériaux et les configurations des étagères lumineuses devraient être conçus pour éviter de générer l'effet d'éblouissement pour les bâtiments voisins. Il est également important de ne pas maximiser l'utilisation des étagères lumineuses au détriment d'autres performances environnementales. Par exemple, afin de ne pas compromettre le confort thermique en raison de gain de chaleur provenant des après-midi chauds, les fenêtres et donc les étagères lumineuses, ne doivent pas être installées sur la façade ouest.

Figure 4.6.2: L'intérieur réfléchissant est la touche finale apportée aux améliorations de la performance de l'éclairage naturel dans la station de Zuoying, ville de Kaohsiung, Taiwan



Figure 4.6.3: Stores réfléchissants installés dans un système de façade à double vitrage



Les puits de lumière sont le plus appropriés pour les régions tempérées où les heures d'éclairage naturel durant l'hiver sont courtes et le gain de chaleur en été est moins sévère par rapport aux régions climatiques chaudes. Les technologies sont souvent considérées comme inappropriées dans les régions climatiques chaudes, en raison du fait que les puits de lumière apportent à la fois la lumière du soleil et de la chaleur dans les espaces intérieurs d'un bâtiment. Toutefois, si conçus stratégiquement, placés dans les zones ombragées du toit, et s'ils sont accompagnés d'un système à double vitrage, les puits de lumière peuvent fournir les avantages prévus aux bâtiments économes en énergie.

Figure 4.6.4: Puits de lumière permettant la pénétration de la lumière du jour à l'intérieur du Terminal 3 de l'aéroport Changai, à Singapour



Les conduits de lumière sont adaptés à toutes les conditions climatiques en raison de la nouvelle technologie qui permet de surmonter de nombreuses lacunes relatives aux lucarnes. Tout d'abord, en raison de leurs tailles étroites et compactes, les conduits de lumière peuvent répondre économiquement aux problèmes de gain de chaleur et aux problèmes potentiels de fuite d'eau rencontrés par les lucarnes. Deuxièmement, les conduits de lumière sont également moins enclins à se briser. En outre, ils ne fournissent pas un lien visuel entre l'environnement intérieur et extérieur, et sont donc choisis pour une utilisation dans des zones de haute sécurité et des zones privées.

État d'avancement de la mise en œuvre et pénétration du marché

Les étagères lumineuses et les puits de lumière ont été largement utilisés dans les pays développés et industrialisés. Ils sont souvent désignés comme de bonnes pratiques de conception, et sont appréciés aussi bien par les professionnels de la conception que par les utilisateurs des bâtiments, en raison des avantages psychosomatiques liés à la lumière naturelle dans le bâtiment. D'autre part, les conduits de lumière ont un statut de faible pénétration du marché. Ceci est dû au fait qu'ils représentent une technologie relativement nouvelle, qu'ils ont un aspect mécanique, et qu'ils sont souvent considérés comme une

option par les promoteurs immobiliers. Ils sont donc souvent retirés pendant la phase de l'analyse de la valeur, ou lors de phases de réductions des coûts postérieures au développement de la conception, et ils finissent alors par ne pas être installés.

Les trois technologies d'exploitation de la lumière naturelle ont un potentiel élevé pour être mise sur le marché dans les pays en développement. Les technologies ont un niveau élevé d'acceptation, parce que le principe d'apporter de la lumière naturelle à l'intérieur des bâtiments peut être trouvé dans la plupart des méthodes de construction traditionnelles à travers le monde.

De point de vue de l'influence climatique, le marché à fort potentiel pour les puits de lumière se trouve dans les régions tempérées, du fait que les puits de lumière peuvent apporter de grandes quantités de lumière naturelle dans les grands espaces intérieurs au cours d'un long hiver avec de courtes heures d'ensoleillement. De même, les étagères lumineuses ont un potentiel élevé dans les régions tropicales et subtropicales, où elles peuvent produire la lumière du jour en profondeur dans les espaces intérieurs d'un bâtiment tout en évitant l'éblouissement pour les zones internes près des fenêtres. Les conduits de lumière, d'un point de vue fonctionnel, ont un marché potentiel dans les zones urbanisées, où les conduits de lumière peuvent prendre un petit espace du toit et transmettre la lumière à travers plusieurs étages.

Faisabilité de la mise en œuvre

Parce que les technologies d'exploitation de la lumière naturelle ont été disponibles sur le marché pendant une longue période, l'aspect technique de leur mise en œuvre peut être soutenu par la plupart des marchés et des régions. Leur mise en œuvre généralisée nécessite un appui institutionnel, comprenant des règlements appropriés par les autorités locales en matière de planification, de bâtiment et de construction. Ces réglementations doivent inclure mais ne sont pas limitées à:

1. Un espacement adéquat entre les bâtiments en fonction de la hauteur du bâtiment
2. Des aspects de sécurité liés à l'installation de technologies d'exploitation de la lumière naturelle
3. La prévention de la réflexion éblouissante et directe aux voisins immédiats des bâtiments avec des étagères lumineuses.

Il serait également très utile si les codes de construction locaux (normes) pourraient être accompagnés par des lignes directrices portant sur la conception de l'éclairage naturel et sur la méthodologie du calcul de cet éclairage naturel, telles que les normes indiennes SP-41 (Bureau of Indian Standards, 1987).

Dans les régions où les technologies d'exploitation de la lumière naturelle ne sont pas couramment utilisées, la recherche et le développement ainsi que le renforcement des capacités pour les professionnels locaux du bâtiment et de la construction doivent conditionner le déploiement à grande échelle des technologies. La recherche et le développement définissent la plate-forme de collecte de données locales et le développement de la technologie locale, en particulier dans les domaines de l'éclairage solaire local et l'estimation de la disponibilité de la lumière du jour. Ces données vont informer les professionnels sur les technologies d'exploitation de la lumière naturelle et les conceptions de systèmes les plus appropriées pour une mise en œuvre à grande échelle.

Le renforcement des capacités est également nécessaire auprès des concepteurs dans le domaine de la conception et de l'analyse des outils (par exemple, les méthodes de dessin à main levée, la simulation informatique de la conception de l'éclairage du jour, ainsi que ses impacts sur la performance thermique des bâtiments), auprès des travailleurs locaux de la construction en matière de techniques d'installation,

et auprès des propriétaires d'immeubles et du personnel de gestion des installations concernant les procédures de maintenance.

Contribution au développement social, économique et environnemental

Les technologies d'exploitation de la lumière naturelle aident à diminuer la consommation d'énergie en réduisant les besoins d'éclairage artificiel et donc la génération de chaleur provenant de l'éclairage artificiel. Le US Green Building Council (2008) estime qu'une réduction de 50 à 80% de la charge énergétique de l'éclairage peut être réalisée à partir d'un bâtiment à éclairage naturel bien conçu (USGBC et al., 1996). Dans la ville tropicale de Bangkok, la lumière du soleil est importante et représente donc un fort potentiel; on estime qu'elle peut subvenir jusqu'à 95% des besoins de lumière pendant la période d'occupation d'un immeuble normal de bureaux, si celui-ci est bien conçu (Tanachaikhan et al., 2009). Une telle économie d'énergie contribuera à réduire le coût opérationnel pour le propriétaire du bâtiment, ainsi que les émissions de GES.

En plus du potentiel d'atténuation mentionné ci-dessus, les technologies qui exploitent la lumière du jour offrent aux occupants du bâtiment une certaine connexion dynamique et temporelle avec la luminosité extérieure. Le fait d'être plus exposés à la lumière du jour, apporte des effets psychologiques positifs pour les occupants du bâtiment, et « joue un rôle important le sentiment de bien-être que ressent l'utilisateur et qui le rend plus performant dans son travail » (Hausladen et al., 2005).

Avec ces contributions, les technologies d'exploitation de la lumière du jour ne sont pas uniquement une source d'atténuation rentables; elles contribuent également de manière positive au bien-être des occupants du bâtiment.

Besoins financiers

Les produits et les coûts d'installation varient en fonction des technologies d'exploitation de la lumière naturelle, des configurations de la conception, des types de matériaux (par exemple, cadre en aluminium anodisé, cadre en aluminium laqué, charpente en bois, verre, etc.) et de la quantité de matériaux utilisés.

Les étagères lumineuses externes et statiques peuvent être considérées comme la technologie la plus compétitive en termes de coûts, en raison de la simplicité de la technologie et du fait qu'elles peuvent également jouer le rôle de dispositifs de protection solaire. Dans leur forme la plus simple, les étagères lumineuses nécessitent uniquement la sélection de matériaux réfléchissants appropriés pour faire refléter la lumière du jour à l'intérieur du bâtiment. Les puits de lumière sont plus coûteux en raison de leurs méthodes de construction complexes et du choix rigoureux des matériaux et ce afin de traiter les questions relatives à la sécurité et à la fuite d'eau. Les conduits de lumière sont préconçus et sont des produits prêts à l'emploi, par conséquent, les prix des produits sont plus prévisibles. En Europe de l'est, par exemple, les prix d'un conduit de lumière peuvent aller d'environ 150 \$/chacun à plus de 600 \$/chacun, plus les coûts de l'installation.

Pour les trois technologies d'exploitation de la lumière naturelle, un nettoyage régulier est nécessaire. Cela est particulièrement vrai dans les environnements les plus poussiéreux, où l'entretien doit être effectué à des intervalles plus courts, de sorte que les technologies puissent réaliser leurs performances attendues.

Étude de cas

Pusat Tenaga, le bâtiment de bureaux zéro énergie (ZEO) malaisien, situé à 40 km au sud de Kuala Lumpur, illustre parfaitement le déploiement des technologies d'exploitation de la lumière naturelle. Alors que les étagères lumineuses avec des miroirs sur les parties supérieures sont déployées sur la façade du bâtiment, l'atrium central est éclairé par la lumière du jour via un grand puits de lumière solaire cellulaire intégré, et les étages de bureaux internes sont éclairés par le conduit de lumière. Quand la lumière du jour atteint un niveau insuffisant pour pouvoir effectuer les tâches bureautiques, les conditions de luminosité sur les lieux du travail sont ensuite complétées par un système d'éclairage artificiel intelligent économe en énergie ainsi que par une lumière fournie par des LED. Avec une solution de conception holistique pour intégrer toutes les trois technologies d'exploitation de la lumière naturelle, la lumière du jour devient la source de lumière principale (l'objectif étant de 100%) pendant la journée, et contribue grandement à la performance énergétique nette zéro des bâtiments.

Figure 4.6.5: Étagère lumineuse, puits de lumière et conduit de lumière à Pusat Tenaga, bureau zéro énergie de la Malaisie



Étagères lumineuses, puits de lumière – avec revêtement supérieur constitué de miroir – sur l'atrium central de l'espace du bureau éclairé par des étagères lumineuses (à droite) et conduit de lumière à travers le plafond (sur la gauche)

4.7 Systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation à haute performance

La technologie

Les systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation (CVC) fournissent de l'air frais et conditionnent la température intérieure de l'air et l'humidité d'un bâtiment. Le système CVC est présenté comme un élément clé de la consommation d'énergie (37%) dans les bâtiments Américains (WBCSD, 2008); ils représentent 59% de l'énergie utilisée dans les immeubles commerciaux en Chine en 2000 (Levine et al., 2007). Par conséquent, le système CVC est une composante clé du potentiel d'atténuation du changement climatique dans le secteur du bâtiment.

Les Systèmes CVC se constituent normalement de composants qui fournissent, filtrent, chauffent, refroidissent et distribuent l'air climatisé dans les espaces intérieurs. Dans un système CVC, le principe: « le tout vaut plus que la somme de ses différentes composantes » est appliqué. Cela signifie que la haute performance d'un composant peut se faire au détriment des autres. Par exemple, prenons deux catégories de systèmes CVC; systèmes à haute et basse pression. Les systèmes à haute pression permettent à l'air à haute vitesse de circuler à travers le système de conduit à raison de 10 à 25 m/s. Ces systèmes ont

des conduits plus petits et nécessitent donc moins d'espace pour loger le système de conduits, mais ont besoin de plus d'énergie de ventilation pour conduire l'air. Le flux d'air à haute vitesse voit sa vitesse diminuer dans les sorties terminales pour éviter un fort flux d'air qui gêne les occupants, connu sous le nom de « courant d'air ». Les conduits des systèmes à basse pression fournissent des flux d'air à basse vitesse et nécessitent des espaces de conduits plus grands. Dans ce cas, l'efficacité du système CVC dépend de la sélection et de l'intégration des composants clés qui conviennent à un bâtiment spécifique et à son contexte.

Comme indiqué, les systèmes CVC à haute performance peuvent être réalisés grâce à la meilleure intégration des composants clés des systèmes CVC. Ces composants clés, ou sous-systèmes, sont le chauffage, la climatisation et la ventilation. Ces composants ont connu de constantes améliorations technologiques visant à améliorer leur performance.

Les systèmes de chauffage:

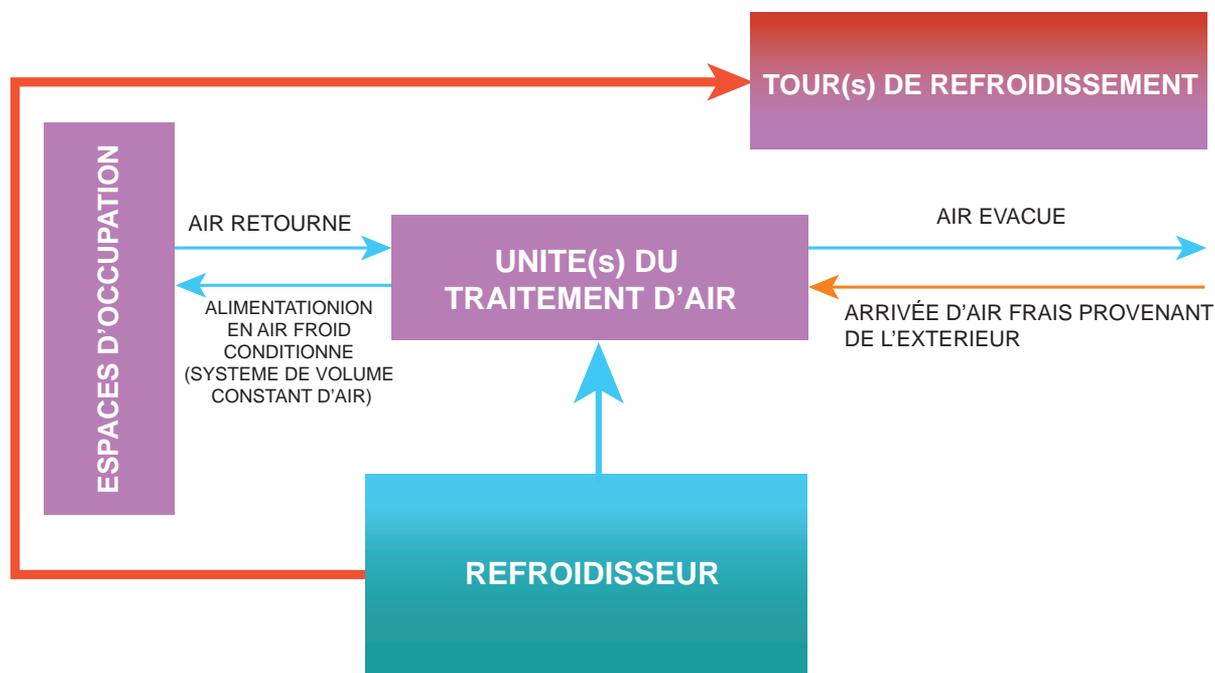
Les chaudières sont généralement utilisées pour produire de l'eau chaude ou de la vapeur à partir du charbon, du diesel ou du gaz naturel. Les chaudières classiques – par exemple, les chaudières en fonte ou les chaudières à tubes d'eau en acier – ont des rendements de combustion entre 78% et 86%. La génération la plus récente des chaudières à condensation atteint jusqu'à 96% du rendement de combustion. Les chaudières à condensation fonctionnent souvent avec du gaz naturel; une source d'énergie moins polluante. Elles sont plus efficaces pour éliminer la chaleur des gaz combustibles et peuvent être utilisées plus efficacement que les chaudières classiques à charge partielle (Graham, 2009).

Les technologies de pompes à chaleur sont développées comme une alternative aux chaudières utilisant des combustibles fossiles. Elles permettent d'extraire la chaleur issue des profondeurs de la terre, d'extraire l'air ou l'eau souterraine pendant les mois d'hiver, dans les régions tempérées, afin de conditionner la température pour une utilisation intérieure. En inversant le cycle susmentionné pendant les mois d'été, une pompe à chaleur extrait la chaleur de l'intérieur vers l'extérieur pour fournir une température intérieure plus froide.

Les systèmes de refroidissement:

Les refroidisseurs sont utilisés pour produire de l'eau froide qui est ensuite pompée jusqu'à des unités de traitement d'air pour refroidir l'air. Les refroidisseurs utilisent soit la compression mécanique soit un processus d'absorption. Parmi les refroidisseurs à compression mécanique, les refroidisseurs centrifuges sont les plus performants pour le fonctionnement de grande capacité, tel que dans les grands immeubles de bureaux ou dans les centres commerciaux. Les refroidisseurs par absorption, quant à eux, produisent de l'eau froide grâce à des sources de chaleur, comme les brûleurs à gaz ou l'eau à haute température, au lieu d'utiliser l'électricité pour faire fonctionner les compresseurs. De cette façon, les refroidisseurs par absorption utilisés pour la climatisation, permettent l'utilisation de l'eau chaude provenant des installations solaires thermiques.

Les condensateurs sont nécessaires dans les systèmes de refroidissement car ils permettent d'expulser la chaleur à l'environnement et permettent aux refroidisseurs d'éliminer en continu la chaleur de des espaces climatisés intérieurs. Ils peuvent être refroidis par air ou par eau. Les condensateurs refroidis par air sont utilisés pour des applications à petite échelle, alors que les condensateurs refroidis par l'eau sont plus coûteux, mais beaucoup plus efficaces pour les systèmes à grande échelle et sont généralement présents dans les grands bâtiments. Les condensateurs refroidis par l'eau exigent des tours de refroidissement, généralement situées sur les toits des bâtiments, et ce afin d'évacuer la chaleur des condensateurs dans l'environnement.

Figure 4.7.1: Schéma d'un système classique de refroidissement et de ventilation

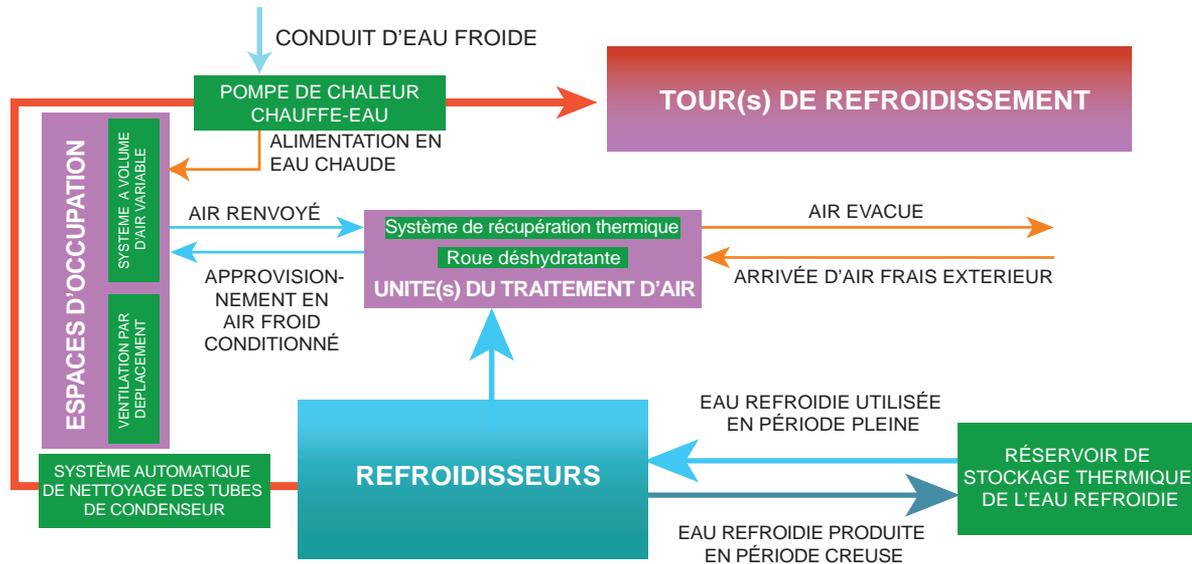
La récupération de l'énergie installée dans le système de ventilation mécanique peut aider à économiser de l'énergie. Les hottes d'aspiration d'air conditionné peuvent être utilisées pour refroidir l'air remplacé, entrant par un échangeur de chaleur, au lieu d'être évacué directement à l'extérieur. Ceci peut pré-refroidir l'air remplacé entrant à une température d'environ 25 ° C dans les régions tropicales, réduisant ainsi la consommation d'énergie destinée au refroidissement (BCA, 2007). Les roues déshydratantes ont la capacité de déshumidifier l'air tout en réalisant un échange de chaleur, et sont également appropriées aux régions chaudes et humides de la ceinture tropicale.

Un système automatique de nettoyage des tubes de condensateurs permet aux refroidisseurs, en se basant sur un échange de chaleur refroidie par l'eau, de maintenir une bonne performance grâce à un nettoyage constant des tubes du condensateur. Le système fait circuler des balles éponge de nettoyage dans les tubes du condensateur, qui sont ensuite rincées dans un réceptacle pour balles grâce à des mouvements de rotation (Hydroball, 2007).

Systèmes de ventilation:

Les systèmes à volume d'air variable (VAV) font varier la quantité d'air admis dans une pièce tout en gardant la température de l'air constante. Cette stratégie est différente de celle des systèmes à volume d'air constant (VAC) qui fournissent une quantité constante de l'air admis tout en faisant varier la température de l'air d'alimentation. Comme l'air d'alimentation est refroidi au niveau central afin de répondre à la demande de la température la plus froide, les systèmes VAC peuvent conduire à des pièces/zones avec une demande de refroidissement de température inférieure, ce qui cause un gaspillage d'énergie. Le système VAV, au contraire, permet un meilleur contrôle de la température ambiante et, lorsqu'il est utilisé avec les ventilateurs à vitesse variable, il permet d'économiser jusqu'à 15% de l'énergie consommée (BCA, 2007).

Figure 4.7.2: Schéma d'un système classique de refroidissement et de ventilation à faible consommation énergétique



La ventilation par déplacement utilise le principe selon lequel « l'air chaud monte » afin d'assurer la ventilation dans une salle climatisée. La ventilation par déplacement fournit généralement de l'air conditionné à partir d'un système de sol surélevé à travers une série de registres réglables montés sur le plancher. L'air de la chambre est stratifié: l'air à basse température reste dans la partie inférieure de la chambre (où les personnes sont situées et l'air froid est nécessaire) et l'air à haute température s'élève vers le plafond (Graham, 2009). En conséquence, la ventilation par déplacement permet de réduire l'énergie utilisée dans la ventilation à grande vitesse afin de conduire l'air refroidi vers le bas à partir du plafond tout comme les sorties d'air traditionnelles fixées au plafond. En outre, la ventilation par déplacement peut fournir le même niveau de confort avec une température d'air d'alimentation nettement plus élevée, soit environ 18° C par rapport à environ 13° C dans un système classique de ventilation (Levine et al., 2007).

Figure 4.7.3: La ventilation par déplacement



Prérequis de l'application

Les systèmes CVC à haute performance exigent de grands efforts au cours de la phase de la conception relatifs à la coordination, à la sélection et à la conception afin d'intégrer au mieux les composantes du système CVC et ce pour pouvoir correspondre au contexte spécifique et aux paramètres uniques d'un bâtiment.

Le contrôle de la zone est la première et la plus simple stratégie pour un système CVC à haute performance (y compris le chauffage et la climatisation). Chaque fois que cela est possible, les espaces/pièces dans un bâtiment doivent être divisé(e)s en petites pièces fermées, équipées chacune d'un thermostat, d'un clapet motorisé et d'un système de contrôle. De cette façon, les utilisateurs sont en mesure de régler la température de la pièce d'une manière indépendante en fonction de leur niveau de confort thermique. On estime que l'application du contrôle de la zone dans un bâtiment commercial à Singapour peut réduire la consommation d'énergie jusqu'à 25% (DLS, 2009).

Dimensionnement correct des composants. Ceci est un concept simple mais difficile à réaliser. Les ingénieurs mécaniques et électriques ont l'habitude de se baser sur le scénario le pire pour déterminer le dimensionnement, lors de demandes plusieurs charges simultanées, par exemple, le pire des cas météorologiques, les charges d'éclairage, la charge de l'équipement, pleine occupation et ainsi de suite. Cependant, au cours des dernières années, les données empiriques de la recherche en science du bâtiment ont démontré que l'équipement surdimensionné fonctionne moins efficacement et coûte plus cher. Il est donc préférable de « prévoir la possibilité d'une expansion, mais de ne pas la dimensionner » (Graham, 2009).

L'emplacement de conduit d'air frais doit être soigneusement examiné et placé loin de toute pollution (potentielle) et de toute odeur, comme le sol du garage souterrain, ou être directement en face de points de collecte des ordures. Il n'est pas non plus souhaitable de placer un conduit d'air à proximité d'une sortie d'échappement d'air. De cette façon, l'air entrant aux systèmes CVC est frais et de bonne qualité.

Changement (inversion) de la charge maximale dans les systèmes de refroidissement afin d'utiliser l'électricité hors charge maximale pendant la nuit ou l'énergie solaire pendant la journée pour produire de l'énergie thermique sous la forme de glace ou d'eau froide par exemple. Cette énergie thermique sera stockée et utilisée pour la climatisation pendant les heures de pointe de refroidissement/chauffage. Cela se traduira par une plus faible demande en électricité au moment des heures pleines et une réduction des coûts énergétiques.

La distribution de chaleur dans les systèmes de chauffage dans les espaces d'occupation comprend deux méthodes communes, le chauffage à eau chaude et le chauffage par air chaud pulsé. Dans un système de chauffage à eau chaude, l'eau chaude provenant de la chaudière est pompée par des tuyaux situés dans des dalles de plancher et/ou des parois autour du bâtiment. La chaleur est émise à partir de l'eau chaude pour chauffer les espaces d'occupation. Les avantages de ces systèmes est le fonctionnement silencieux, et le fait que la chaleur peut être bien répartie.

Dans les systèmes à air chaud pulsé, l'eau chaude circule dans un ventilo-convecteur pour chauffer l'échangeur de chaleur. L'air de l'intérieur du bâtiment circule et passe ensuite à travers l'échangeur de chaleur chaud. Enfin, l'air chaud est distribué à/aux l'espace(s) d'occupation. Il est recommandé de situer les sorties d'air chaud sur le sol ou sur la paroi inférieure de l'espace d'occupation. Les sorties fixées au plafond empêchent la flottabilité naturelle de l'air chaud, et nécessitent donc de l'énergie supplémentaire

afin de conduire l'air chaud au niveau des occupants dans une pièce grâce à des vitesses de ventilation plus élevées.

État d'avancement de la mise œuvre et pénétration du marché

La demande mondiale de l'équipement CVC global a enregistré une augmentation de 6,2% par an jusqu'en 2010 pour atteindre 93,2 milliards de dollars. Dans la région de l'Asie-Pacifique, la croissance de la demande sera supérieure à la moyenne mondiale, avec la croissance du marché de la Chine contribuant à environ 40% de la croissance de la demande mondiale (Freedonia, 2010).

Avec l'augmentation des dépenses de construction et la hausse du revenu par habitant, la forte demande du marché de CVC en Inde devrait croître aussi à un rythme plus rapide que la moyenne mondiale. Avec une demande croissante dans le monde entier, les systèmes CVC à haute performance cherchent à profiter des bonnes perspectives du marché. En outre, la hausse des prix du pétrole et de l'électricité, combinée à la sensibilisation du public à être économes en énergie, contribuera à pousser la demande vers le marché à haute performance.

Le GIEC (Le Groupe Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat) souligne également la tendance d'une demande accrue de climatisations d'appartements individuels et de maisons dans les pays en développement, atteignant même des niveaux encore plus élevés dans les pays développés (Levine et al., 2007). Cette tendance est évidente dans l'évolution de la production de ces unités de climatisation - de 35,8 millions d'unités en 1998 à 45 400 000 unités en 2001, soit une augmentation de 26% (GIEC/GETE, 2005).

Bien que des coûts d'investissement plus élevés soient requis, la pénétration du marché des refroidisseurs par absorption est estimée à un cinquième pour le marché central des systèmes CVC de la Chine. Cela est beaucoup plus élevé qu'aux États-Unis, dont la pénétration est d'environ 1%. Ceci est dû au fait qu'en Chine, plusieurs bâtiments et usines ont déjà des générateurs diesel et des réservoirs de stockage de carburant pour faire face aux pannes. Par conséquent, il serait plus rentable pour les propriétaires d'immeubles d'installer des refroidisseurs par absorption plutôt que d'installer des refroidisseurs qui fonctionnent à l'électricité (Bradsher, 2010).

La ventilation par déplacement a, selon le Quatrième rapport d'évaluation du GIEC, un taux d'adoption élevée en Europe du Nord, ce qui représente 50% des nouveaux bâtiments industriels et 25% des nouveaux immeubles de bureaux dans le marché scandinave. Cependant, le taux d'adoption de la ventilation par déplacement en Amérique du Nord a été beaucoup plus faible: moins de 5% pour les nouveaux bâtiments.

Faisabilité de la mise œuvre

Le renforcement des capacités, les codes locaux de construction relatifs au CVC et le soutien de la croissance des entreprises de services énergétiques SSE (voir la section 4.16), sont trois éléments clés pour pouvoir développer, de manière réaliste, les systèmes CVC à haute performance et leurs sous-systèmes à plus grande échelle, en particulier dans le contexte des pays en développement.

Comme souligné dans le paragraphe « Prérequis de l'application », l'un des principaux obstacles à la mise en place des systèmes CVC à haute performance est l'installation de systèmes surdimensionnés qui causent, la plupart du temps, une charge partielle inefficace. Afin de briser le cercle vicieux créé par cette pratique classique, des ateliers de formation visant à améliorer les connaissances professionnelles

seront nécessaires. En outre, les projets de démonstration de construction bien conçues, équipées de systèmes CVC à haute performance, qui mettent en relief les économies d'énergie ainsi qu'un bon confort thermique, représenteront un bon catalyseur.

Définir des performances minimales dans les codes de la construction permet d'offrir un cadre institutionnel pour la conception et la mise en place de systèmes CVC plus performants dans les bâtiments. Un exemple de normes adéquates est l'American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers (ASHREA), qui fournit également des lignes directrices sur la façon de parvenir à réaliser une conception et une installation de CVC à haute performance.

Comme les systèmes CVC sont considérés comme la composante principale consommant de l'énergie dans les bâtiments, l'amélioration de la performance énergétique des systèmes CVC est le principal secteur d'affaires de nombreuses sociétés de services énergétiques (SSE). Par conséquent, soutenir le développement des sociétés de services énergétiques et le commerce relatif à la performance énergétique va indirectement favoriser la mise en œuvre des systèmes CVC à haute performance.

Contributions au développement social, économique et environnemental

En raison du pourcentage élevé de la consommation d'énergie, les systèmes CVC à haute performance contribuent à la fois au développement économique et environnemental. Tout d'abord, ils sont connus pour avoir un potentiel d'économie d'énergie de 30 à 40% dans la consommation totale d'énergie de CVC classique du bâtiment, ce qui contribue considérablement à la réduction des émissions de GES dans le secteur du bâtiment. En outre, de telles économies peuvent être traduites en d'importantes économies sur les factures d'électricité pour les propriétaires et/ou locataires de bâtiment. Avec des réglementations gouvernementales adéquates et le soutien nécessaire, les sociétés de services énergétiques pourraient prospérer dans ce domaine, ce qui permettrait de stimuler une plus forte demande du marché et l'adoption de systèmes CVC à haute performance.

Les systèmes CVC à haute performance offrent un air plus propre et de meilleure qualité à l'environnement intérieur; par exemple, grâce à l'emplacement précis du conduit d'air frais, l'installation de systèmes automatiques de nettoyage des tubes de condensateur et des émetteurs UVC. Cet air pur contribue à une meilleure vie intérieure et à de meilleurs environnements de travail, à la réduction du syndrome des bâtiments malsains, et à un confort et productivité meilleurs.

Besoins financiers

Comme les systèmes CVC à haute performance peuvent être réalisés de nombreuses façons, en fonction de la nature des bâtiments, leurs besoins financiers varient. Si les systèmes CVC à haute performance sont conçus au cours de la phase de conception, les coûts supplémentaires d'investissement peuvent être minimes dans de nombreux cas, ce qui permet la réduction du coût de l'équipement est réduit grâce au dimensionnement correct (au lieu du surdimensionnement) de l'équipement.

Des coûts supplémentaires d'investissement sont parfois nécessaires pour des sous-systèmes CVC additionnels, liés par exemple à l'installation de systèmes automatiques de nettoyage de tube de condensateur, aux zones de grandes tuyauteries ou aux systèmes de stockage de glace. En général, les coûts d'investissement plus élevés des systèmes CVC à haute performance seront récupérés par les économies d'énergie et la baisse des coûts de maintenance. Par exemple, la période de retour sur investissement moyen d'un système qui permet une réduction d'énergie de 30% est d'environ 3-5

ans en Amérique du Nord (Graham, 2009). Ci-dessous, vous pouvez trouver à titre indicatif, les coûts d'investissement des sous-systèmes CVC à haute performance à Singapour:

1. Les refroidisseurs par absorption d'une capacité de 1 mW coûtent environ 315000 \$; ceux d'une capacité de 2 mW coûtent 501,000 \$; 3 mW coûtent 783,000 \$; et d'une capacité de 4 mW coûtent 1,061,000 \$.
2. Les refroidisseurs à vitesse variable de A 1,5 kW coûtent environ 922 \$, à vitesse de 5 kW coûtent 1500 \$, 10 kW coûtent 2000 \$, 22 kW coûtent 3200 \$ et à vitesse de moteur de 30 kW coûtent 3600 \$. La période du retour sur investissement est d'environ un an ou moins.

Étude de cas

Édifice du Ministère de l'Énergie, de l'Eau et des Communications, Malaisie

L'édifice est connu pour être un bâtiment de bureau à faible consommation énergétique (LEO) et a une superficie climatisée de 17000 m². Le système de climatisation à haute performance est obtenu grâce à l'intégration des sous-systèmes clé suivants:

1. Le zonage pour le refroidissement localisé et la contrôlabilité pour répondre aux aspects variables de l'occupation et aux charges requises.
2. Des boîtes de volume d'air variable (VAV) et des variateurs de vitesse (VV) sont installées pour soutenir le zonage des besoins de refroidissement.
3. Des capteurs de contrôle de la température des pièces (chambres) sont également utilisés afin de mieux gérer la demande d'air frais.
4. Des détecteurs de CO₂ sont installés pour contrôler le débit d'air frais entrant afin de maximiser la performance énergétique et la qualité de l'air intérieur.
5. Une roue de récupération de chaleur à base d'air est utilisée pour refroidir le débit d'air frais entrant et pour réduire la charge de refroidissement.
6. Des purificateurs d'air électroniques sont utilisés pour maintenir un système de filtration d'air performant, améliorer la qualité de l'air intérieur, et réduire les pertes d'énergie dues à l'accumulation de poussière.

Le résultat est une charge de refroidissement de 64 kWh/m²/an, comparé à un bâtiment traditionnel à 120 kWh/m²/an, ce qui représente une économie d'énergie de près de 50%.

4.8 Systèmes d'éclairage performant

La technologie

L'éclairage consomme jusqu'à 21% de l'énergie totale dans les bâtiments (Levine et al., 2007), et représente environ 17,5% de la consommation mondiale d'électricité (Pike Research, 2010). Le passage vers les alternatives économiques en énergie permettrait de réduire la demande d'électricité relative à l'éclairage dans le monde de 18% (PNUE, 2009). Par conséquent, les systèmes d'éclairage performants représentent l'une des mesures d'atténuation du changement climatique les plus importantes du secteur du bâtiment. Les technologies d'éclairage performantes comprennent les lampes économes en énergie, les ballasts et les luminaires. Les exigences de mise en œuvre du système d'éclairage performant comprennent l'intégration de la lumière naturelle, le contrôle de la zone, le contrôle de l'utilisateur, et les systèmes de circuit à double allumage.

Les technologies utilisées dans les lampes artificielles modernes pour émettre de la lumière comprennent les radiateurs thermiques, les lampes à décharge et les radiateurs électroluminescents. En général, les radiateurs thermiques, tels que les lampes à incandescence et les lampes halogènes n'ont pas un bon rendement énergétique. Les lampes qui génèrent de la lumière grâce au rayonnement thermique nécessitent de l'énergie pour chauffer un matériau à des températures élevées. Par conséquent, outre l'émission de la lumière à l'intérieur du spectre visible, une grande quantité de rayonnement est émise dans l'environnement sous forme de chaleur et de rayonnement sous d'autres longueurs d'ondes.

Les lampes à décharge (par exemple, les lampes fluorescentes) génèrent de la lumière par décharge électrique à travers les gaz et les vapeurs. Elles sont plus économiques que les lampes à radiateur thermique. Par exemple, la lampe fluorescente compacte (LFC) convertit environ 25% de l'énergie en lumière visible, tandis qu'une lampe à incandescence ne convertit que 5% de l'énergie consommée en lumière visible, laissant 95% émis sous forme de chaleur (PNUE, 2009).

Figure 4.8.1: Lampes économes en énergie



Lampe fluorescente LED

Les radiateurs électroluminescents, utilisés dans des diodes électroluminescentes (LED), sont également économes en énergie. La LED repose sur un circuit semi-conducteur pour convertir le courant électrique en lumière. Cette technologie est au moins dix fois plus performante que les lampes à incandescence.

Figure 4.8.2: Comparaison des lampes couramment utilisées

Type	Lampes	Moyen de décharge de l'énergie	Principales utilisations	Économe en énergie
Radiateurs thermiques	À incandescence	Lumière, chaleur et rayonnement	Maison, bureau, usines, etc.	NON
	Halogènes		Commerce, hôtellerie	
Lampes à décharge	Lampes fluorescentes compactes	Lumière par le moyen de décharge électrique à travers les gaz et les vapeurs	Maison, bureau, usines, commerce, hôtellerie	OUI
	T5 et T8			
Radiateurs électroluminescents	LED	Convertit le courant électrique en lumière	Maison, bureau, usines, commerce, hôtellerie	

Les différents types de lampes ont des caractéristiques différentes. La sélection de source de lumière économes en énergie devrait tenir compte des critères suivants: l'efficacité lumineuse élevée (lumen/watt), la miniaturisation, une durée de vie plus longue, l'utilisation de matériaux recyclables, et le fait d'éviter les substances dangereuses (DLS, 2009).

Outre les lampes, le ballast et les luminaires jouent également un rôle dans l'éclairage économique. Les ballasts aident à augmenter la performance énergétique, comme la fonction de gradation. Les luminaires sont généralement faits de matériaux réfléchissants et existent sous la forme de lentilles, de réflecteurs, de persiennes ou de lames pour améliorer le rendement lumineux en reflétant la lumière indirecte afin d'éclairer un endroit, tels que les murs environnants, ou les surfaces.

Lampes économes en énergie. Il existe deux groupes de lampes économes en énergie couramment utilisées: les lampes à décharge et les LED. Les lampes à décharge sont classées en lampes à basse pression et lampes à haute pression. Les lampes à basse pression sont aussi appelées lampes fluorescentes. La technologie comprend des tubes T5/T8 linéaires et les LFC. Tous les deux représentent une technologie avancée avec une grande performance énergétique, sont compactes et ont une longue durée de vie. Les LFC (lampes fluorescentes compactes) offrent une bonne lumière diffuse et sont souvent utilisées pour l'éclairage direct et l'éclairage mural. Elles peuvent également être utilisées pour l'éclairage localisé. Les lampes à haute pression, connues aussi sous le nom de lampes à décharge à haute intensité (DHI), sont un autre type de lampes économes en énergie. Elles sont adaptées à l'éclairage de grandes zones et à des utilisations extérieures. Les Lampes DHI aux halogénures métalliques, par exemple, ont une très grande efficacité lumineuse et une durée de vie allant jusqu'à 9000 heures de fonctionnement (Hausladen et al., 2005). Les lampes PAR à halogénures métalliques, avec des enceintes à tube à arc en céramique, ont un bon rendu de couleurs et peuvent remplacer des lampes halogènes pour l'éclairage d'accentuation. L'inconvénient des lampes DHI serait qu'elles prennent plus de temps à démarrer. Par conséquent, elles sont plus appropriées pour une utilisation dans les espaces nécessitant de longues heures de fonctionnement où elles sont moins fréquemment allumées et éteintes.

Les lampes LED émettent de la lumière dans une bande spectrale très étroite, mais peuvent produire une lumière blanche qui est utile pour l'utilisation dans les environnements de la vie quotidienne, tels que les maisons et les bureaux. La lumière blanche peut être formée en mélangeant les lampes LED individuelles qui émettent un éventail de couleur rouge, vert et bleu avec du phosphore ou en revêtant une lampe à LED bleue avec du phosphore, (Nelson, 2010). Les lampes LED ont une très longue durée de vie allant de 40 000 à 100 000 heures de fonctionnement, en fonction de la couleur. Durant leur phase de développement, les lampes LED avaient des utilisations très limitées, comme les pictogrammes de sortie et la décoration, du fait qu'elles avaient un faible indice de rendu des couleurs et une efficacité médiocre. Cependant, les technologies des lampes LED ont été considérablement améliorées. Elles sont désormais largement utilisées: pour l'éclairage paysager, l'éclairage localisé, l'éclairage en applique murale, les projecteurs (spots) utilisés dans les commerces et l'éclairage des œuvres d'art.

Les ballasts aident à améliorer la performance des lampes, à augmenter leur durée de vie et à réduire les pertes de puissance. Les ballasts électroniques à haute fréquence contribuent à améliorer la performance visuelle et à réduire la fatigue oculaire. Par exemple, les fréquences de 20 kHz et plus, fournissent un éclairage de grande qualité, sans effet de scintillement, qui réduit la fatigue des yeux (Nelson, 2010). Les ballasts électroniques à gradation, dans le cas des lampes fluorescentes, aident à réduire la consommation d'énergie lorsqu'un éclairage intense n'est pas requis, à savoir, à l'endroit et au moment où la lumière est forte.

Les luminaires aident à améliorer le rendement de la production lumière, à améliorer la distribution, à contrôler l'éblouissement, et à augmenter davantage la performance énergétique. Une variété de luminaires conçus pour économiser de l'énergie (appelé éclairage économe en énergie) est désormais disponible sur le marché et pour des utilisations commerciales. Voici des exemples de l'utilisation des luminaires à fort rendement énergétique:

1. Les spots encastrés offrent une forme ronde pour être utilisés avec des lampes LFC (Lampes Fluorescentes Compactes).
2. Les luminaires à bande linéaire sont principalement fixés au plafond avec ou sans réflecteurs secondaires habituellement utilisés avec les lampes T8. Ils sont de petite taille, à faible coût, et à lumière facilement tamisée. Ils sont surtout appropriés aux salles mécaniques, les casiers, les garages, etc. Ils peuvent également être utilisés pour l'éclairage de plafond en milieu de travail.
3. Les appliques murales sont fixées au mur à des fins décoratives, et peuvent être utilisées pour les lampes fluorescentes compactes. Elles peuvent être utilisées sur les murs de halls, les couloirs, les salles formelles de réunion, etc.
4. Les luminaires linéaires à éclairage indirect/direct peuvent être accrochés au plafond ou fixés au mur et sont habituellement utilisés avec les lampes T5 ou T8. En combinaison avec la surface du plafond lumineux, les luminaires linéaires à éclairage indirect peuvent fournir un effet visuel doux et confortable et ont une lumière facilement tamisée (l'éclairage peut être facilement réduit). Les luminaires linéaires à éclairage indirect sont généralement utilisés dans des espaces de hauts plafonds, comme les salles de classe.

Figure 4.8.3: Exemples de luminaires économes en énergie



Spot encastré



Luminaire à bande linéaire



Applique murale



Luminaire linéaire à éclairage indirect

Prérequis de l'application

Un système d'éclairage à performance énergétique complet comprend des lampes, des ballasts et des luminaires économes en énergie. Il existe au moins quatre grands principes de conception qui doivent être pris en compte lors de la mise en œuvre d'un système d'éclairage à performance énergétique.

Utilisation en association avec la lumière naturelle. L'éclairage artificiel doit être conçu et utilisé avec les technologies d'exploitation de la lumière du jour (voir section 4.7) afin de réduire avant tout la consommation énergétique. Pour les appareils d'éclairage installés au plafond près des fenêtres, les lampes peuvent être plus espacées les unes des autres. Les lampes de bureau peuvent être utilisées comme éclairage d'appoint.

Contrôle de zone. Il est particulièrement utile de diviser les espaces d'un bâtiment en zones ayant différents besoins en éclairage artificiel, et de fournir de multiples circuits de contrôle pour faciliter une demande d'éclairage variée. Un exemple de contrôle de zones serait d'intégrer la lumière naturelle dans l'éclairage des couloirs ou des pièces situées près des fenêtres et d'installer plusieurs circuits de commutation marche/arrêt ou de gradation et ce en réponse à la lumière naturelle disponible.

Figure 4.8.4: Le contrôle de la zone permet à l'espace de la bibliothèque près de la fenêtre d'être éclairé par la lumière naturelle (à gauche), tandis que l'espace loin de la fenêtre est éclairé par des lampes LFC



Contrôlabilité de l'utilisateur et détecteurs de mouvements. Cette exigence vise le câblage de l'éclairage dans les bâtiments de bureaux, en particulier dans l'aménagement des bureaux ouverts. L'utilisation habituelle est de fournir un circuit pour relier de nombreux (sinon la totalité) luminaires dans un grand espace avec un ou deux points de commutation centralisée. Ce type d'utilisation gaspille de l'énergie et réduit la durée de vie des luminaires pendant les heures de faible occupation. Par conséquent, fournir de la flexibilité pour la contrôlabilité de l'utilisateur dans des espaces de travail individuels ou dans de petites zones d'espace de travail peut économiser de l'énergie. Les détecteurs de mouvements peuvent être également installés de sorte que l'éclairage soit éteint automatiquement quand il n'y a pas d'occupant dans la zone concernée.

Le système de circuit à double allumage: Ce système permet à la lumière alternée d'être éteinte au moment où l'éclairage intense n'est pas critique. Les endroits appropriés pour l'utilisation de ce système comprennent les garages, les couloirs des complexes résidentiels, et les zones d'aménagement paysager. Ces endroits sont beaucoup moins utilisés après minuit. Une partie de la lumière peut être éteinte pour économiser l'énergie. La recherche montre que des économies de 30% sur la consommation de l'électricité destinée à l'éclairage peuvent être atteintes, et la période de retour sur investissement est d'environ 6 mois (BCA, 2007).

État d'avancement de la mise œuvre et pénétration du marché

L'éclairage économe en énergie a été largement adopté, grâce à des analyses de rentabilisation éprouvées prouvant son économie en énergie et son retour sur investissement. L'Environmental Leader Insight (Septembre, 2010) prévoit que le potentiel global du marché relatif à l'éclairage économe en énergie devrait passer de 13,5 milliards de dollars à 32,2 milliards de dollars de 2010 à 2015, soit un taux de croissance annuel de 19%. Il est également prévu que la croissance sera plus forte pour l'éclairage commercial de

2010 à 2012, suivi par l'éclairage résidentiel de 2012 à 2015. Parmi les diverses technologies d'éclairage économe en énergie, la LED présente un potentiel important à long terme, parce que la LED est au stade initial de la pénétration du marché, avec des coûts qui baisseront probablement et l'amélioration des technologies conduisant à des utilisations commerciales plus larges (Pike Research, 2010).

Les marchés pour les technologies d'éclairage économes en énergie existent aussi bien dans les pays développés que dans les pays en développement. Durant ces dernières années, les marchés de l'éclairage économique dans les pays en développement ont subi une forte expansion et ce pour trois raisons. Premièrement, en 2009, le Fonds Mondial pour l'Environnement, le Programme des Nations Unies pour l'Environnement et les partenaires de l'industrie de l'éclairage, ont initié un projet de la transformation du marché mondial pour l'éclairage économe en énergie, connu sous le nom de l'initiative en.lighten – Efficient Lighting For Emerging and Developing Countries, ce qui signifie un éclairage à fort rendement énergétique pour les pays émergents et les pays en développement. L'un des objectifs de cette initiative est de progressivement éliminer les lampes à incandescence dans le monde entier (en.lighten, 2009). L'initiative estime réaliser des économies de 409 térawatts heures/an, soit 2,3% de la consommation mondiale d'électricité, en remplaçant toutes les lampes à incandescence par des lampes LFC. Deuxièmement, les pays en développement mettent en œuvre des programmes visant à promouvoir les lampes LCF, et les distribuent même gratuitement. Ces programmes font souvent partie des stratégies de développement rural, en particulier dans les pays africains, l'Inde et la Chine. Le programme de la lampe LCF en Éthiopie, comme examiné dans l'étude de cas ci-dessous, est un exemple de tels programmes. Troisièmement, les coûts de la lampe LCF et LED ont diminué significativement au fil des années. Par exemple, dans les pays d'Asie du sud, le coût de la lampe LCF a chuté d'une moyenne de 12 \$ au milieu des années 90 à une moyenne de 3 \$ - 5 \$ en 2008 (Goswami et al., 2010).

Faisabilité de la mise œuvre

Les technologies de l'éclairage économique sont parmi les technologies dont la mise en œuvre est possible à une grande échelle. Cela est dû à leur coût d'investissement plus faible, à leur installation facile et simple, et au fait qu'ils soient une nécessité pour la vie quotidienne. Avec de telles caractéristiques, les technologies d'éclairage économes en énergie peuvent être mises en place soit en suivant une approche ascendante soit une approche descendante. Dans une approche ascendante, les propriétaires individuels de bâtiment/maison peuvent prendre la décision d'adapter et d'utiliser des luminaires économes en énergie avec un coût faible d'investissement ponctuel, qui sera remboursé grâce aux économies réalisées à partir des factures d'énergie. La décision de passer à des systèmes d'éclairage économiques selon l'approche ascendante peut être facilitée par les politiques de soutien descendantes, qui comprennent:

1. La réduction/suppression des tarifs douaniers à l'importation sur les composants de l'éclairage économique
2. Le lancement des programmes d'éclairage économique qui fournissent ou subventionnent ce type d'éclairage
3. Le soutien des fabricants locaux à produire les composants et les systèmes d'éclairage économique, afin de continuer à réduire les coûts et de créer de nouveaux emplois locaux
4. Le fait de fournir des programmes de campagnes et d'éducation publique visant à introduire les technologies de l'éclairage économique et leurs avantages
5. Le fait d'assurer l'élimination sécuritaire des lampes LFC à la fin de leur vie en raison du mercure utilisé dans ces lampes. Une des mesures est d'établir une centrale de recyclage de la lampe LCF, qui peut gérer le mercure et d'autres questions de sécurité de l'environnement.

Contributions au développement social, économique et environnemental

La mise en œuvre des technologies d'éclairage économique apporte de nombreux avantages à la protection de l'environnement et à la conservation des ressources énergétiques. Les lampes économes en énergie peuvent réduire substantiellement les émissions GES issues de l'éclairage des bâtiments. Par exemple, les lampes LCF ou LED consomment un cinquième (ou moins) de l'énergie que nécessitent les lampes à incandescence pour la même capacité d'éclairage et elles sont environ 1000 fois plus économes que les lampes au kérosène (Mills, 2005). En termes de durée de vie, et comparées aux lampes à incandescence, les lampes LFC durent huit fois plus longtemps avec une durée de vie allant jusqu'à 8000 heures de fonctionnement (Hausladen et al., 2005). Les lampes LED durent 40 à 100 fois plus longtemps avec une durée de vie de 40 000 à 100 000 heures de fonctionnement selon la couleur.

Les technologies de l'éclairage économique améliorent également les conditions de santé et de vie des occupants de l'immeuble. Dans les zones rurales, comme des villages isolés en Afrique et en Asie du Sud, l'utilisation des technologies LCF et LED comme remplacements des lampes au kérosène, aidera à améliorer la qualité de l'éclairage, à fournir de plus longues études ou d'heures de travail et à réduire le risque d'incendie provenant de l'utilisation de la lampe à pétrole (ou au kérosène). Dans les zones urbaines, l'utilisation des ballasts électroniques à haute fréquence contribue à réduire la fatigue oculaire, à accroître la productivité dans le milieu de travail et à fournir une meilleure qualité de vie.

En termes de développement économique, le développement de l'éclairage économique à grande échelle dans les régions/pays les moins développés, pourraient potentiellement former une masse critique pour mettre en place la production locale de composants de l'éclairage. Cela aidera à créer des emplois, à améliorer les compétences de la main-d'œuvre locale et à fournir des luminaires économes en énergie rentables aux utilisateurs finaux locaux.

Besoins financiers

L'exigence financière majeure pour les technologies d'éclairage économique est l'investissement initial à l'achat et l'installation des produits. Ce coût est normalement remboursé dans un court laps de temps. Par exemple, en Inde, la période de retour sur investissement estimée quant au remplacement d'une lampe à incandescence par la lampe LFC est de 1,2 années, et de moins pour le remplacement d'une lampe à pétrole par la lampe LFC (Bhattacharya et Cropper, 2010). Comparées aux lampes LFC, les lampes à LED nécessitent un investissement initial plus élevé, mais leur longue durée de vie (jusqu'à 10 fois plus longue que celle de la lampe LFC) compense le coût d'investissement élevé. En règle générale, le coût d'investissement pour la lumière LED est généralement remboursé durant la première année d'utilisation. Les coûts d'entretien sont négligeables au cours de la vie des lampes et des ballasts économes en énergie.

En général, il est prévu que le coût d'investissement pour les lampes économiques continue à baisser en raison des mises à niveau continues des technologies, de l'augmentation de la capacité de production de masse à travers l'expansion du marché de la demande, et du déplacement des fabricants des composants vers les pays en développement et sous-développés.

Étude de cas

Le programme de la LFC de l'Éthiopie

Le gouvernement Ethiope, avec l'appui de la Banque mondiale, a mise en œuvre une initiative qui vise à permettre la passage des lampes à incandescence vers les lampes LFC à l'échelle nationale. Le gouvernement a commencé par distribuer 5 millions de lampes LFC gratuitement, en contre partie d'échange de lampes à incandescence existantes. Pour maximiser l'impact, le programme d'échange allait en parallèle avec une importante campagne de sensibilisation portant sur l'économie d'énergie. Après trois mois, avec 2,5 millions de lampes LFC distribuées, la compagnie d'électricité Ethiope a reporté une réduction de 80 MW de la demande maximale, qui aurait été générée par des générateurs diesel. Cela se traduit par une économie d'environ 100 millions de dollars créée par un programme de distribution de lampes LFC à 4 millions de dollars (Banque mondiale, 2010). Les participants bénéficient d'une meilleure qualité d'éclairage et de dépenses énergétiques plus faibles.

4.9 Technologies d'économie d'eau

La technologie

L'utilisation de l'eau dans les bâtiments a une contribution indirecte, mais importante dans la consommation de l'énergie et des ressources. La production et la distribution de l'eau pour les bâtiments sont des activités à forte intensité énergétique. L'énergie est utilisée pour purifier les sources d'eau douce jusqu'à atteindre un niveau qui est sans danger pour la consommation dans les bâtiments et pour faire fonctionner les pompes pour le nettoyage et la distribution. Dans de nombreuses régions où l'eau douce est une ressource rare, une énergie supplémentaire est nécessaire pour extraire l'eau souterraine des profondeurs, pour transporter l'eau sur une longue distance, ou pour exploiter une usine de dessalement à forte intensité énergétique. En outre, le transfert des eaux usées à l'usine de traitement nécessite de l'énergie pour le pompage. À l'usine de traitement des eaux usées, l'électricité est nécessaire pour l'aération des eaux usées et pour d'autres systèmes de traitement. On estime que 30-40% de l'électricité utilisée par les villes de taille moyenne sont utilisés pour pomper l'eau à travers le système de distribution et de traitement des eaux usées (Johnson Controls, 2011). Par conséquent, si nous conservons l'eau, nous conservons l'énergie.

En bref, l'économie de l'eau dans les bâtiments a un lien étroit avec l'économie d'énergie et l'atténuation du changement climatique. Par conséquent, les technologies d'économie d'eau sont abordées dans ce guide comme une option d'atténuation dans le secteur du bâtiment.

Quatre technologies clés de l'économie de l'eau pour les bâtiments sont abordées dans cette section: informations sur le comptage et la consommation de l'eau, les systèmes de récupération de l'eau des pluies, les systèmes de recyclage des eaux grises, les systèmes hydropneumatiques d'approvisionnement en eau, et les dispositifs d'économie d'eau.

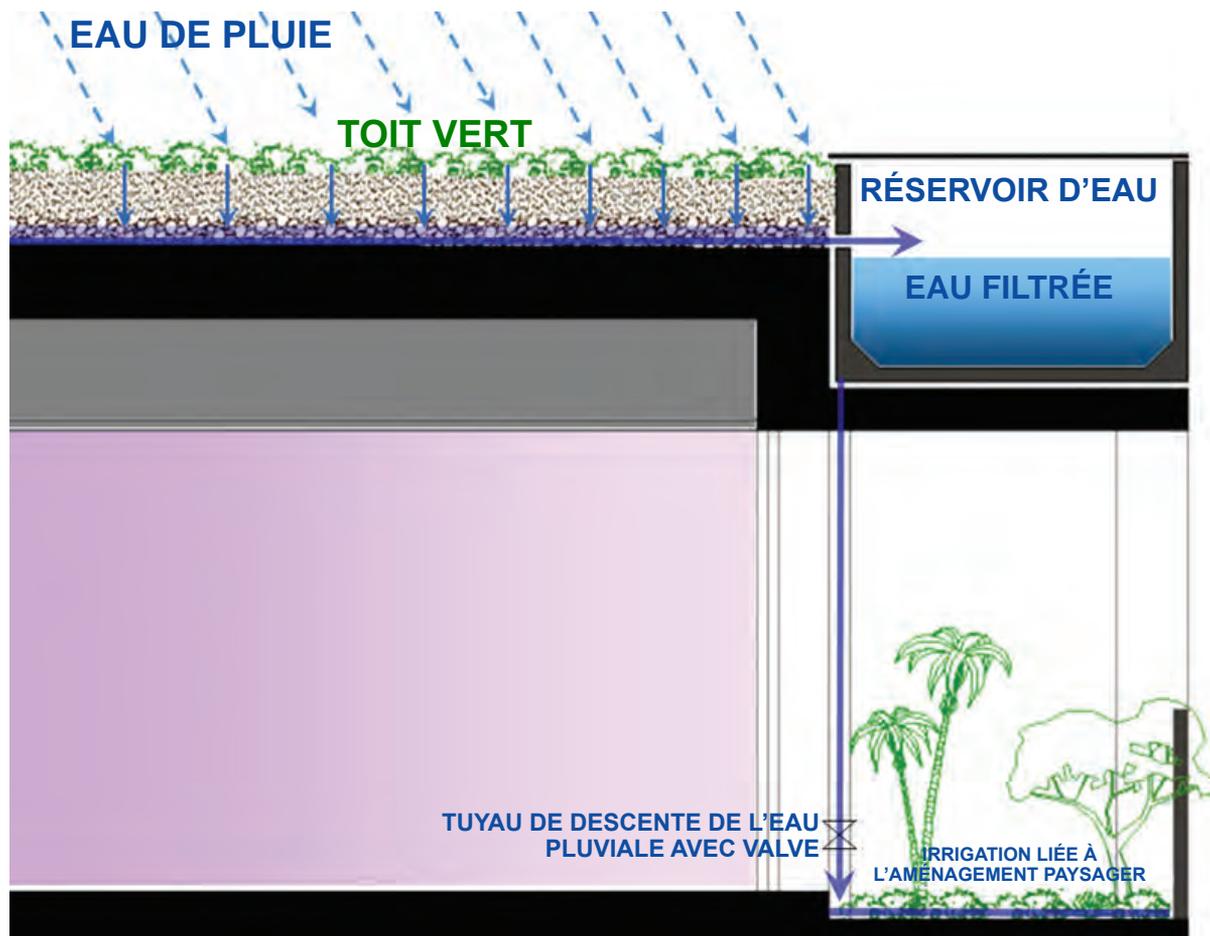
L'information sur le comptage et la consommation d'eau est l'une des technologies clés pour aider à gérer la consommation de l'eau. Traditionnellement, les informations sur la consommation de l'eau sont uniquement fournies sous la forme de factures d'eau mensuelles sans beaucoup de détails sur la consommation de l'eau. En outre, dans plusieurs cas, les utilisateurs n'ont pas accès à de telles informations, comme c'est le cas dans les bâtiments commerciaux ou dans les complexes multi-logements, où de nombreuses unités partagent un compteur d'eau commun. Des compteurs séparés et la fourniture de

renseignements détaillés sur la consommation d'eau permettent aux utilisateurs de surveiller la quantité d'eau consommée et les motifs de cette consommation. Ils aident les utilisateurs à devenir plus conscients de leur consommation d'eau quotidienne et catalysent les comportements économes en eau.

Les systèmes de récupération de l'eau des pluies facilitent la collecte d'eau de bonne qualité à partir de précipitations naturelles. La méthode la plus connue de la collecte des eaux de pluie est la collecte à partir des toits ou d'autres surfaces du bâtiment. Un simple système comprend des gouttières et des tuyaux de descente de l'eau pluviale, qui sont liés à un réservoir de stockage. Un tuyau de descente de l'eau pluviale détachable est souvent utilisé pour exclure le premier ruissellement d'eau pendant un orage. Le premier ruissellement est généralement contaminé par la poussière, les feuilles, les insectes ou les déjections d'oiseaux (UNEP SBCI et al., 2007).

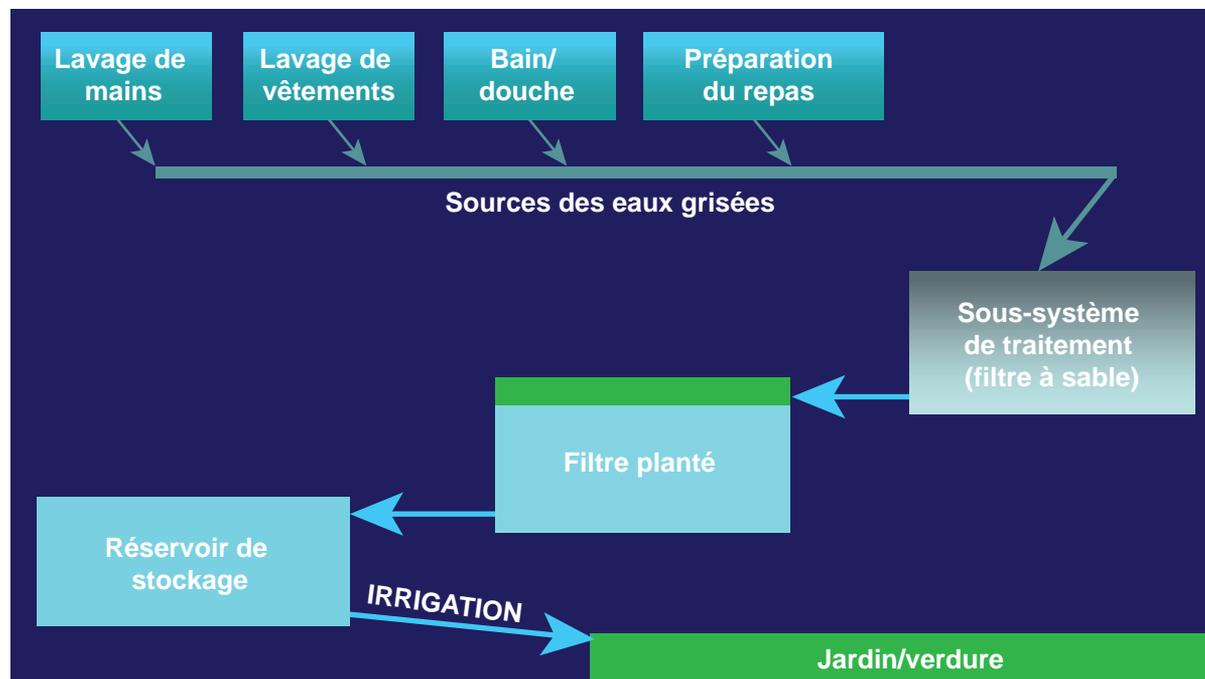
Un système de récupération de l'eau des pluies perfectionné comprend un système de traitement des eaux (par exemple, la distillation solaire), de sorte que l'eau collectée soit traitée à un niveau potable. Un exemple de l'utilisation de collecte innovante de l'eau pluviale dans les bâtiments multi-étages consiste à placer le réservoir de stockage des eaux de pluie immédiatement sous le toit et ce afin de bénéficier de la gravité pour l'irrigation liée à l'aménagement paysager, les chasses d'eau, et d'autres usages de l'eau non potable.

Figure 4.9.1: L'utilisation de l'eau pluviale dans les bâtiments multi-étages



Les systèmes de réutilisation des eaux grises recyclent et réutilisent les eaux grises provenant des douches/bains, des lavabos et des éviers, pour des usages de l'eau non potable, comme les chasses d'eau et l'irrigation, au sein d'un bâtiment. Un système de réutilisation des eaux grises se compose souvent d'un réseau de tuyauterie pour canaliser les eaux grises depuis leurs sources jusqu'au système de traitement (par exemple, le filtre à sable et le filtre planté), d'un réservoir de stockage, et d'un tuyau de distribution pour mettre fin à des points d'utilisation, comme le système d'irrigation.

Figure 4.9.2: Diagramme de flux d'un système typique de réutilisation des eaux grises

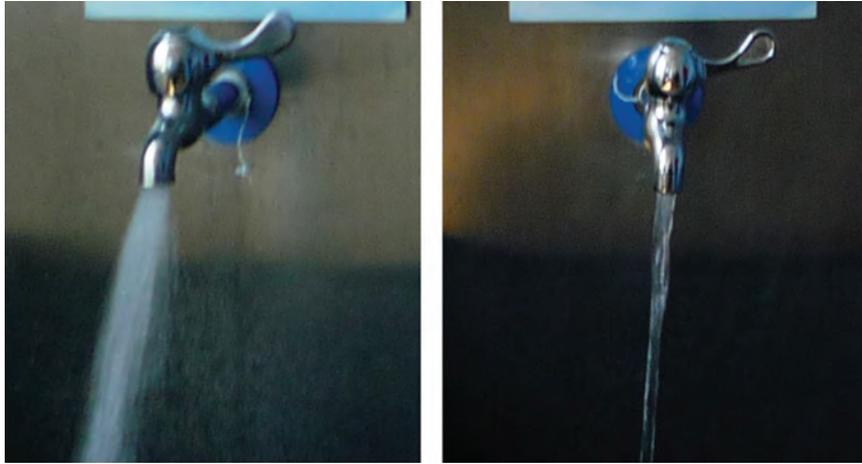


Les systèmes hydropneumatiques d'approvisionnement en eau introduisent la pression d'air dans les réservoirs d'eau comme un composant clé d'économie d'énergie dans les systèmes d'approvisionnement en eau pour l'utilisation du bâtiment. L'air comprimé dans le réservoir remplit trois fonctions;

1. L'approvisionnement en eau selon un niveau de pression prédéterminé
2. Réduire les coups de bélier (montées de pression) dans les systèmes d'approvisionnement en eau
3. Utiliser le réglage de la pression pour surveiller et contrôler les pompes à eau. L'économie d'énergie est assurée par la réduction de la consommation d'énergie des pompes à eau.

Les dispositifs d'économie d'eau: Quatre types de dispositifs d'économie d'eau ont été développés pour économiser la consommation de l'eau dans les bâtiments. Le premier type de produits applique la technologie d'aération qui mêle l'air à l'écoulement de l'eau afin de réduire la quantité d'eau libérée. Ce type de dispositif agit comme un régulateur du débit de l'eau et peut être aussi simple qu'une sorte de dé à coudre qui se fixe sur presque tous les robinets d'eau domestiques, tels que ceux des éviers de cuisine et des lavabos. Les robinets de l'évier de cuisine fixés avec le régulateur de débit peuvent atteindre un débit de moins de 6 litres par minute, sans affecter la pression de l'eau. Comparés au débit de 15 litres par minute des robinets typiques de la cuisine sans régulateurs, les appareils réduisent la consommation d'eau de plus de 60%. La technologie d'aération a également été appliquée aux pommes de douches afin d'atteindre un débit de moins de 5 litres par minute.

Figure 4.9.3: Débit d'eau pour les robinets avec régulateur d'aération (à gauche) et pour robinets sans régulateur (à droite)



Le deuxième type améliore la conception des toilettes et urinoirs pour réduire la quantité d'eau libérée, tout en maximisant l'effet de nettoyage. Par exemple, un urinoir économique en eau avec une largeur standard de 300 mm seulement exige moins de 0,5 litres d'eau par chasse. Pour les toilettes, des réservoirs à double chasse ont été développés pour tenir compte des différentes exigences des chasses. La capacité recommandée est de 4,5 litres ou moins pour tir complet de chasse d'eau, et moins de 3 litres pour un tir de chasse d'eau à moitié (BCA, 2007).

Figure 4.9.4: Toilette avec réservoir à double chasse



Le troisième type concerne les dispositifs d'économie d'eau, tels que les lave-vaisselle et les lave-linge. Le développement technologique et les nouvelles conceptions ont prévu des économies d'eau importantes pour ces dispositifs. Par exemple, les lave-vaisselle économes en eau utilisent environ 14-38 litres d'eau, par rapport aux lave-vaisselle classiques, qui utilisent 34-45 litres d'eau par pleine charge de vaisselle. La nouvelle approche de la conception des lave-linge s'est éloignée des modèles à chargement par le haut pour s'orienter vers les modèles à chargement frontal qui utilisent une action de culbutage pour laver les vêtements. Les lave-linge à chargement frontal utilisent de 30 à 50% d'eau en moins, ainsi que 50 à 60% d'énergie en moins pour fonctionner, et ce par rapport aux lave-linge à chargement par le haut.

Figure 4.9.5: Lave-linge économique en eau à chargement frontal (gauche) et lave-linge classique à chargement par le haut (droite)



Le quatrième type concerne la conception et l'utilisation des technologies de l'automatisation dans les systèmes d'irrigation relatifs à l'aménagement paysager. Par exemple, les systèmes d'irrigation goutte à goutte économiques en eau utilisent de 30% à 50% d'eau en moins que les systèmes d'irrigation par aspersion. Les systèmes d'irrigation goutte à goutte ne fournissent de l'eau directement aux racines des plantes à une vitesse lente. Par conséquent, le débit de l'eau et les taux d'évaporation sont réduits au minimum (BCA, 2007). Les technologies avancées d'irrigation économique en eau comprennent également des contrôles automatisés qui peuvent être utilisés avec les détecteurs de pluie. L'irrigation est arrêtée lorsque la pluie est détectée. Un système automatique d'irrigation goutte-à-goutte avec détecteurs de pluie et minuteries dans les régions tropicales peut faire économiser 23% de la consommation annuelle d'eau dans un grand complexe de bâtiments (BCA, 2007).

Figure 4.9.6: Système d'irrigation goutte à goutte



Prérequis de l'application

Informations sur le comptage et la consommation d'eau. Dans les unités de logements individuels ou dans les bâtiments à propriétaire unique et à petite échelle, les compteurs d'eau peuvent être installés au point d'entrée où le tuyau d'alimentation en eau du bâtiment est raccordé au conduit d'alimentation en eau de la municipalité. Un petit espace simple devrait être fourni pour protéger le compteur contre les intempéries. Le compteur d'eau, cependant, doit être facilement accessible pour la lecture. Il est généralement situé à côté des portes d'entrée des bâtiments. Dans les bâtiments plus complexes, qui comprennent plusieurs grands systèmes consommateurs d'eau, à savoir, les dispositifs d'eau chaude, l'irrigation liée à l'aménagement paysager et les tours de refroidissement, des sous-compteurs peuvent être installés pour chacun de ces systèmes. Les données de tous les sous-compteurs peuvent être reliées au système central de gestion du bâtiment et fournies aux utilisateurs finaux (le cas échéant) afin d'optimiser l'utilisation de l'eau et la facilité de détection de fuite.

Les systèmes de collecte (récupération) de l'eau de pluie peuvent être plus facilement appliqués dans les unités de logements individuels ou dans les maisons de ville en rangée, où les propriétaires peuvent collecter l'eau de pluie pour leur propre consommation. Dans les bâtiments multi-étages avec plusieurs propriétaires, l'eau de pluie collectée est utilisée le mieux pour les zones communes qui ont des besoins en eau non potable, à savoir; l'irrigation liée à l'aménagement paysager ou le nettoyage des zones communes. L'eau de pluie collectée à partir d'un toit ne doit pas être bu sans traitement approprié. La taille d'un réservoir de stockage est basée sur la zone de captage du toit et sur les données pluviométriques locales, telles que l'intensité des précipitations, la fréquence et la durée. Les gouttières et les tuyaux de descente de l'eau de pluie devraient être construits à partir de matériaux résistants à la corrosion, par exemple le PVC, le fer galvanisé, etc., pour des raisons de durabilité et d'hygiène. Les systèmes de récupération de l'eau de pluie nécessitent un nettoyage régulier contre les contaminants, les feuilles sèches, etc., qui pourraient obstruer le système et polluer l'eau collectée.

Les systèmes de réutilisation des eaux grises. Généralement, les eaux grises et les eaux noires partagent le même réseau de tuyauterie dans un bâtiment. L'eau noire est une eau usée chargée avec des matériaux biologiques, déchargées principalement des toilettes. Les systèmes de réutilisation des eaux grises nécessitent une attention au stade initial de la conception du bâtiment, vu que les systèmes ont besoin d'espaces pour des réseaux de tuyauterie supplémentaires, qui sont distincts de l'égout ou du réseau de tuyauterie pour l'eau noire. En outre, les systèmes de traitement et les réservoirs de stockage nécessitent également des espaces supplémentaires. L'eau grise stockée doit être utilisée dès que possible. Des mesures préventives doivent être mises en place pour désinfecter l'eau stockée et ce afin de prévenir la contamination croisée et la multiplication des bactéries et des champignons. Si l'eau grise traitée est non désinfectée, il est recommandé qu'elle soit réutilisée pour l'irrigation seulement par l'intermédiaire d'un système souterrain. Seulement quand elle est désinfectée et traitée pour répondre à certaines normes de qualité, l'eau grise peut être utilisée pour les chasses des toilettes et l'irrigation de surface (gouvernement de l'Australie occidentale, 2010). Les systèmes de réutilisation des eaux grises nécessitent un entretien régulier pour vérifier les fuites éventuelles, pour remplacer le moyen du traitement, et pour empêcher la reproduction des moustiques et la multiplication des bactéries.

Les systèmes hydropneumatiques d'approvisionnement en eau nécessitent de l'espace pour le réservoir d'eau à air comprimé. Il est habituellement placé sur le toit d'un bâtiment. L'espace doit être assez grand pour le réservoir et pour faciliter l'entretien. Le toit et la structure de soutien devraient être en mesure de prendre en charge le poids supplémentaire du réservoir plus la capacité maximale conçue de l'eau. Les capteurs (détecteurs) sont nécessaires pour surveiller le niveau de l'eau et de la pression. Les capteurs envoient des signaux pour contrôler le fonctionnement du compresseur et de la pompe à l'eau. Il est préférable de relier l'ensemble du système au système central de gestion de bâtiment (si disponible) pour une surveillance centralisée.

Figure 4.9.7: L'espace sur le toit doit être assez grand pour le réservoir d'eau et pour faciliter la maintenance



Les dispositifs d'économie d'eau: peuvent être facilement utilisés aussi bien dans les bâtiments neufs que ceux déjà existants. Des dispositifs, tels que les aérateurs ou les régulateurs de débit, peuvent être simplement ajoutés à des robinets d'eau existants. Des réservoirs à double chasse à faible capacité et des urinoirs économiques en eau peuvent être installés dans les nouveaux bâtiments ou être destinés à remplacer les dispositifs classiques existants. Il n'y a pas de besoins supplémentaires de maintenance par rapport aux dispositifs traditionnels.

Figure 4.9.8: Aérateur fixé à l'intérieur d'un robinet comme moyen simple pour réaliser des économies d'eau



Les systèmes d'irrigation d'eau économiques en eau. La fréquence de l'irrigation doit être programmée pour correspondre aux variations climatiques et saisonnières. Il est également recommandé d'identifier les opportunités pour le contrôle de la zone, de sorte que les plantes avec différents types de besoins en eau soient irriguées séparément. Les contrôles automatiques peuvent alors être programmés pour allumer/éteindre les systèmes d'irrigation pour les différentes zones pour répondre à des divers besoins en eau. Cet arrangement réduira les excès d'irrigation inutile.

État d'avancement de la mise en œuvre et pénétration du marché

Des technologies et pratiques d'économie d'eau sont, en général, mise en œuvre dans la plupart des régions du monde. L'utilisation de formes simples de compteurs d'eau pour les bâtiments individuels est une pratique obligatoire dans de nombreuses zones urbanisées, parce que les gouvernements municipaux reconnaissent qu'une telle pratique peut significativement influencer les comportements des utilisateurs en matière de préservation de l'eau. Deux-tiers des pays membres de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) ont déjà installé des compteurs d'eau dans plus de 90% des maisons où ne vit qu'une seule famille (Brandes et al., 2010). L'application des sous-compteurs dans des systèmes importants de consommation d'eau dans de grands immeubles exige des investissements et des efforts de coordination supplémentaires. Par conséquent, les sous-compteurs ne sont pas utilisés de manière aussi populaire. Cependant, leurs avantages ont été reconnus, et leur taux d'utilisation croît, surtout dans les zones urbaines pauvres en eau comme Singapour.

En raison de leurs avantages tangibles et de leur simplicité d'installation et d'exploitation, les systèmes de récupération de l'eau de pluie sont largement appliqués en milieu rural et dans les petites villes, où un approvisionnement municipal en eau est limité ou non disponible.

La réutilisation de l'eau grise est également une pratique populaire dans sa forme la plus simple, dans laquelle l'eau grise est stockée manuellement pour une utilisation manuelle ultérieure. Les systèmes de réutilisation des eaux grises ont besoin de plus d'espace, d'un réseau de canalisations supplémentaire et d'équipements de traitement. Par conséquent, les technologies ne bénéficient pas de la même mise en œuvre généralisée comme c'est le cas pour les systèmes de collecte d'eau de pluie. L'OCDE prévoit cependant que de plus en plus de municipalités soutiendront et promouvoir la mise en œuvre de la réutilisation des eaux grises dans leurs villes, car ils font face à « l'inadéquation croissante entre les ressources en eau disponibles et la demande croissante, aussi bien dans les pays de l'OCDE que dans les pays en développement » (OCDE, 2009).

Les systèmes hydropneumatiques d'approvisionnement en eau ont montré que la technologie pouvait faire économiser l'électricité et diminuer les coups de bélier dans les systèmes d'approvisionnement en eau, sans une grande dépense de capital. Par conséquent, la technologie bénéficie d'une bonne pénétration du marché, en particulier pour les immeubles élevés dans les zones urbaines, et pour les bâtiments dans les zones à approvisionnement communal en eau à basse pression, comme Calcutta, en Inde et dans d'autres villes des pays en développement.

Les dispositifs d'économie d'eau à coût faible, tels que les régulateurs de flux d'eau des robinets et des pommes de douche économiques, sont largement implémentés et ont un potentiel de marché important dans les pays développés et en développement. Dans le quartier de Saanich, en Colombie-Britannique, au Canada, le gouvernement a lancé le programme d'échange de robinetterie 'Robinet à Robinet' visant l'économie de l'énergie et de l'eau pour permettre aux résidents d'échanger la robinetterie de leurs douches, salles de bain et cuisines contre un ensemble de robinets économiques en eau. Les pommes

de douche, les robinets aérateurs de la cuisine et de la salle de bain - économiques en eau - sont parmi la nouvelle série de dispositifs d'économie d'eau relatifs à l'offre. L'objectif est d'aider les résidents à réduire leur consommation quotidienne d'eau de 50% (quartier de Saanich, 2010). Les réservoirs à double chasse de faible capacité et les urinoirs économiques en eau ont également un bon potentiel pour développer un segment de marché important pour les nouveaux bâtiments. Les systèmes d'irrigation économiques en eau, cependant, ont une part de marché limitée aux bâtiments haut de gamme.

Faisabilité de la mise œuvre

La faisabilité de la mise en œuvre des technologies et des pratiques d'économie d'eau est généralement basée sur le contexte. Dans un cadre rural, où l'approvisionnement en eau communal est limité ou non disponible, les systèmes de récupération de l'eau de pluie et les systèmes de réutilisation des eaux grises sont les plus appropriés, et ont déjà été établis comme une pratique courante dans plusieurs domaines. Dans les zones urbanisées, où la pression de l'approvisionnement communal en eau est faible ou dans les bâtiments élevés, un système hydropneumatique d'approvisionnement en eau sera utile le plus. Enfin, les dispositifs d'économie d'eau peuvent être appliqués dans la plupart des contextes.

Dans le cas des systèmes de récupération de l'eau de pluie et des systèmes de réutilisation des eaux grises, un soutien institutionnel est nécessaire pour une mise en œuvre effective à grande échelle. Les formes de soutien institutionnel peuvent comprendre et ne sont pas limitées aux:

1. Lignes directrices pour la conception et l'installation des systèmes de collecte de l'eau de pluie
2. Lignes directrices pour le traitement préliminaire de l'eau et/ou de purification de l'eau potable (applicable pour les régions ayant des ressources limitées en eau et un approvisionnement communal limité en eau)
3. Lignes directrices et règlements relatifs à la santé environnementale, à savoir la prévention de la reproduction des moustiques dans les réservoirs/conteneurs de stockage de l'eau de pluie/eaux grises.

Pour soutenir la mise en œuvre des systèmes hydropneumatiques d'approvisionnement en eau, le renforcement des capacités par le biais des ateliers de formation aideront à établir un groupe de techniciens locaux qualifiés pour concevoir, installer et entretenir les systèmes. Des programmes et des démonstrations incitatifs sont utiles pour promouvoir le déploiement à grande échelle de ces technologies.

Dans le cas des dispositifs d'économie d'eau, des programmes de sensibilisation élaborés par les gouvernements locaux ou par les ONG seront très utiles. Ces activités aident le public à comprendre les avantages et à favoriser leur adhésion. En outre, il est utile d'introduire et de mettre en place un système d'étiquetage pour les dispositifs d'économie d'eau. Un exemple à cela est le système d'étiquetage économique en eau élaboré par la Public Utilities Board de Singapour (Conseil des services publics). Les systèmes d'étiquetage de ce genre sont utiles pour maintenir l'intérêt du public et pour promouvoir l'utilisation des produits économiseurs d'eau et des technologies connexes, ce qui les aidera à devenir plus dominants dans le marché.

Contributions au développement social, économique et environnemental

Les technologies d'économie d'eau contribuent à la protection de l'environnement et des ressources grâce à la réduction directe de l'eau et de la consommation de l'eau potable dans les bâtiments.

La consommation d'énergie est également réduite en diminuant l'utilisation de l'eau propre et de l'eau potable dans les bâtiments. L'économie est obtenue non seulement grâce à la réduction du pompage de l'eau sur place, mais grâce à la réduction des besoins en énergie pour traiter l'eau à partir de l'usine de traitement de l'eau, pour transférer l'eau aux utilisateurs finaux et pour traiter les eaux usées déchargées provenant de bâtiments. En outre, les systèmes hydropneumatiques d'approvisionnement en eau sont reconnus pour économiser non seulement de l'eau mais aussi économiser jusqu'à 40% de l'énergie utilisée par les systèmes classiques de pompage de l'eau (SBCI, 2010).

Les systèmes de récupération de l'eau de pluie réduisent aussi la pression de la capacité des systèmes d'égouts pluviaux. Un déploiement à grande échelle de la technologie aidera à réduire le débit des eaux pluviales et à réduire la décharge maximale pour les systèmes de drainage urbain. Les économies d'eau et d'énergie résultantes peuvent être traduites sous forme d'économie tangible pour le gouvernement local (par la réduction des dépenses liées à l'infrastructure) ainsi que pour les propriétaires qui économisent sur les factures d'eau. Les systèmes de collecte de l'eau de pluie, les systèmes de réutilisation des eaux grises et l'utilisation des toilettes à double chasse engagent directement les utilisateurs finaux à conserver l'eau, ce qui génère une prise de conscience quant au bâtiment et le fait d'aider à inculquer des habitudes et des pratiques positives respectueuses de l'environnement dans la société au sens large.

Besoins financiers

Les besoins financiers varient en fonction des technologies spécifiques, ainsi que de la disponibilité et de l'adéquation d'une technologie dans une région. Par exemple, dans les villages ou dans les villes les moins peuplés, la faisabilité de la mise en place des systèmes de récupération de l'eau de pluie est grande. L'investissement nécessaire pour de tels systèmes est faible, en raison de la disponibilité de l'espace sur le toit et des systèmes de gouttières et de tuyaux de descente déjà mis en place. Les coûts pour les utilisateurs finaux sont minimes, y compris les réservoirs de stockage d'eau, les tuyaux de descente détachables en option, ainsi que la maintenance nécessaire. Les systèmes de collecte de l'eau de pluie dans les bâtiments élevés et dans les environnements urbains peuplés, peuvent, néanmoins, coûter plus cher et sont moins rentables. Des systèmes plus sophistiqués sont requis pour satisfaire à un petit rapport surface du toit/nombre d'utilisateurs.

Quelques exemples de coûts indicatifs sont présentés ci-dessous. Un système de récupération d'eau de pluie avec un réservoir souterrain à Singapour coûte environ 1250 \$ /m³, en dehors des coûts liés à l'excavation, au remblayage, à la connexion des tuyaux, au pompage, au filtre, etc. (DLS, 2008). Une pomme de douche économique en eau (à bas débit) coûte environ 5 \$ aux Caraïbes. Les prix des régulateurs de débit d'eau de robinet vont de 1.4 \$ à 4 \$ pour un robinet aérateur domestique aux États-Unis, et sont environ de 95 R en Afrique du Sud. Les prix d'un compteur d'eau classique varient de 1000 \$ à 3000 \$, et les prix d'un compteur numérique varient de 3000 \$ à 5000 \$ par unité à Singapour.

Étude de cas

Umhlanga Sands Lifestyle Resort, Umhlanga, Afrique du Sud

Le bâtiment est un hôtel de 237 chambres situé sur la plage d'Umhlanga. Dans son effort pour réduire les coûts opérationnels et la préservation des ressources, l'hôtel a investi 9,000 R pour installer des pommes de douche et des régulateurs de flux des robinets à faible débit. Le débit a été réduit d'une moyenne de 20 litres/minute à environ 11 litres/minute. Cela permet d'économiser la consommation d'eau et l'énergie nécessaire pour produire de l'eau chaude, tandis que la qualité de la douche n'a pas été

significativement affectée. L'évaluation a montré qu'une diminution de 41% sur l'électricité nécessaire pour le chauffage de l'eau a été réalisée en plus d'une réduction de la consommation de l'eau. La période du retour sur investissement était moins d'un mois (Imagine Durban, Bureau de l'énergie EtheKwini et EtheKwini Département de l'électricité, 2009).

4.10 Les matériaux et produits de construction « puits de carbone » et ceux à faible teneur en carbone

La technologie

Les matériaux et les produits utilisés dans le bâtiment, tels que l'acier et l'aluminium, sont créés par des processus de production d'extraction des matières premières, de traitement de matières premières, de fusion, de fabrication de produits finis, et de transport aux chantiers. Chacune des étapes consomme de l'énergie, consommation qui peut être exprimée en termes d'émissions de carbone. Les émissions totales de carbone de l'ensemble de tous les matériaux et produits ainsi que de la construction qui ont permis d'avoir le bâtiment final, sont connues appelées « carbone gris ». Le carbone gris constitue environ 20% des émissions de carbone dans le secteur du bâtiment (Lane, 2010).

Réduire le carbone gris est une pratiques possibles d'atténuation les plus simples dans le secteur du bâtiment, et ce grâce à l'utilisation de matériaux et produits assimilés à des puits de carbone et des matériaux et produits à faible teneur en carbone dans les bâtiments. Les matériaux de construction puits de carbone proviennent principalement de produits ligneux récoltés (PLR). Le bois est récolté des arbres qui capturent le carbone à travers le processus de la photosynthèse. Cinquante pour cent du poids sec du bois est du carbone, et la quantité de carbone présente dans 1m³ de bois est identique à celle présente dans environ 350 litres d'essence (Labbé, 2010). Il est important de s'assurer que le bois provienne de plantations gérées d'une manière durable. Le bois provenant de l'exploitation forestière illégale n'est pas neutre en carbone et ne doit absolument pas être utilisé. L'exploitation forestière illégale détruit de manière permanente les puits de carbone naturels vastes et leur biodiversité, ce qui ne peut pas être facilement restauré. L'utilisation des produits ligneux récoltés issus de source non-durable est plus nuisible à l'environnement que les avantages de l'utilisation des matériaux à faible teneur en carbone dans les bâtiments.

Les matériaux de construction ne peuvent pas tous être des puits de carbone. Dans de tels cas, les matériaux de construction à faible teneur en carbone devraient être utilisés chaque fois que cela est possible. Les matériaux de construction à faible teneur en carbone peuvent provenir de matériaux avec à la fois de l'énergie et du carbone gris à bas niveau dans leurs processus de production, d'assemblage et de transport. En raison de la définition au sens large, les matériaux de construction à faible teneur en carbone sont interprétés différemment selon les contextes. Par exemple, les produits métalliques sont considérés comme des matériaux à forte teneur en carbone, car les processus d'extraction et de perfectionnement impliqués ont une forte teneur en carbone. Toutefois, les produits métalliques recyclés utilisés dans les nouveaux bâtiments peuvent être considérés comme ayant une faible émission de carbone.

Les matériaux et produits de construction puits de carbone. Les matériaux et produits de construction ligneux récoltés comprennent les matériaux des revêtements de sols et de bardage, les cadres de fenêtres, les portes, les meubles, les fournitures, les colonnes, les poutres et les chevrons. Les produits de bambou ont récemment reçu beaucoup d'attention, en raison de sa croissance rapide, son renouvellement et sa disponibilité dans les climats tropicaux et subtropicaux. Le bambou stratifié est considéré comme étant plus dur que l'acier doux, et la surface est plus dure que celle du bois de chêne rouge et de la fibre de verre. Par conséquent, les bambous ont été largement utilisés dans les structures des bâtiments, les murs

de façade et en tant que composants de toiture. Les produits de bambou ont également été utilisés dans le marché du bâtiment haut de gamme, par exemple, le plancher en bambou traité.

Figure 4.10.1: L'utilisation de matériaux de construction « puits de carbone »



Les matériaux et produits de construction à faible teneur en carbone ont fait l'objet de recherche et de développement. Cela a donné lieu à de nombreux produits de matériaux de construction innovants grâce à l'utilisation des produits dérivés et des produits recyclés. Quelques exemples de matériaux et produits à faible teneur en carbone récemment développés dans le marché comprennent:

1. Briques à faible teneur en carbone. Celles-ci ont été déployées pour la production et la mise en œuvre à grande échelle depuis 2009. L'utilisation de 40% de cendres volantes (Ritch, 2009) contribue à réduire le carbone gris se trouvant dans les briques traditionnelles. Les cendres volantes sont une poudre de verre fine qui se compose principalement de silice, de fer et d'alumine. Elles sont un produit dérivé de la combustion du charbon à partir de la production de l'électricité et sont évacuées après avoir été séparées du gaz de combustion.
2. Béton vert. Les matières premières pour former un béton classique peuvent être remplacées par des produits dérivés des procédés industriels et des matériaux recyclés. Par exemple, le ciment de Portland à forte teneur en carbone peut être remplacé par des cendres volantes et par le laitier granulé de haut fourneau. Le gravier ou le sable peut être substitué par des laitiers de cuivre lavé, et le granit peut être substitué par le granit recyclé provenant des débris démolis.
3. Tuiles vertes. Celles-ci représentent des matériaux en céramique constitués de plus de 55% de verre recyclé et d'autres minéraux. Les produits transforment les déchets de verre en tuiles pour l'utilisation dans le plancher et le revêtement interne et externe du bâtiment. Les composants de verre brillant recyclé ajoutent une qualité esthétique aux produits.
4. Métaux recyclés. Le processus de production des produits métalliques a une forte émission de carbone. Cependant, la performance du cycle de vie des produits métalliques peut considérablement réduire la consommation de leur énergie de production, par exemple de 95% pour l'aluminium, de 80% pour le plomb, de 75% pour le zinc et de 70% pour le cuivre. Ceci est dû au fait que les métaux recyclés à plusieurs reprises peuvent encore conserver leurs propriétés (Stewart et al., 2000). D'autres formes de l'utilisation de produits métalliques sans processus de recyclage complet (qui comprend la refonte des vieux produits métalliques et leur remoulage en de nouveaux produits) consistent à réutiliser les composants structurels du métal existant, tels que les colonnes et les poutres d'acier qui maintiennent encore leur performance structurelle. Enfin, les produits métalliques indépendants du bâtiment, tels que les conteneurs d'expédition, peuvent également être réutilisés d'une manière adaptée dans les nouveaux projets de construction.

En plus des exemples ci-dessus, il existe beaucoup d'autres produits innovants à faible teneur en carbone qui sont disponibles et beaucoup d'autres font l'objet de recherche et de développement.

Figure 4.10.2: Les conteneurs d'expédition peuvent également être réutilisés d'une manière adaptée dans les nouveaux bâtiments



Prérequis de l'application

Les vastes possibilités d'utilisation des matériaux et produits puits de carbone et ceux à faible teneur en carbone peuvent être identifiées dans de nombreux types de bâtiments et d'emplacements. D'une part, les exigences techniques pour la plupart de ces matériaux sont semblables à tous les autres matériaux ordinaires utilisés dans les bâtiments. Par exemple, les produits ligneux récoltés, similaires aux produits ligneux classiques utilisés dans le bâtiment, doivent être résistants à l'infestation de termites et aux dégâts de l'humidité. Les produits ligneux améliorés par la technologie, tels que ceux impliquant le laminage et le traitement chimique, peuvent réduire leur vulnérabilité à l'infestation de termites, et renforcer leur résistance à l'eau et à l'humidité.

Figure 4.10.3: Exemples de détail de construction en bois



D'autre part, des exigences strictes s'appliquent sur l'utilisation de certains matériaux et produits puits de carbone et à faible teneur en carbone et ce pour des raisons de sécurité et de santé environnementale.

L'utilisation des matériaux et produits puits de carbone et à faible teneur en carbone peut ne pas réaliser un effet optimal si ces matériaux sont gaspillés lors de l'utilisation. Les matériaux sont souvent gaspillés dans le but d'atteindre un certain effet esthétique perçu. En conséquence, les matériaux modulaires standardisés sont souvent parés et coupés au chantier de construction afin de répondre à l'objectif de conception et les matériaux restants deviennent des déchets. Par conséquent, la réduction des déchets en tenant compte des tailles standard de matériaux de construction est une condition préalable à la pratique de conception du bâtiment à faible teneur en carbone.

État d'avancement de la mise en œuvre et pénétration du marché

Afin d'atténuer les impacts des changements climatiques du secteur du bâtiment, les matériaux et produits à faible teneur en carbone et surtout les matériaux et les produits puits de carbone ont été considérés comme une des possibilités d'atténuation les plus importantes. Beaucoup de gouvernements régionaux et nationaux ont établi des systèmes d'étiquetage de produits relatifs au bâtiment vert et des systèmes d'étiquetage carbone, qui favorisent davantage la mise en œuvre et la pénétration du marché de ces matériaux et produits. Comme exemples à ces systèmes nous citons le Green Building Material Label de Taiwan (Label de matériaux du bâtiment vert) et le Green Building Products de Singapour (les produits du bâtiment vert). Ces systèmes certifient les produits, en se basant sur un certain nombre d'aspects environnementaux, y compris la faible teneur en carbone, les matériaux locaux, le danger envers la santé environnementale, etc. Les systèmes d'étiquetage carbone dédiés aux matériaux et produits de construction constituent une pratique émergente. Cependant, ils sont actuellement regroupés sous des systèmes d'étiquetage carbone, qui couvrent toutes les catégories de produits; tels que les produits alimentaires et les boissons, les produits de nettoyage, etc. Les exemples des systèmes d'étiquetage carbone comprennent: l'empreinte de carbone de Carbon Trust, le certificat de produit à faible teneur en carbone de la Corée du Sud (Low Carbon Product Certificate) et le label de la réduction du carbone (Carbon Reduction Label) de la Thaïlande.

Parmi les produits puits de carbone, le bambou a récemment été reconnu pour avoir un potentiel élevé. Comme la demande pour les produits ligneux récoltés augmente, le bambou est utilisé comme un substitut pour les espèces de bois à croissance plus lente et à fort potentiel commercial. En 2007, le bambou représente entre 4 et 7% du total du commerce tropical et subtropical en bois (Lou et al., 2010).

En outre, des utilisations innovantes se traduisent par une large gamme de produits de bambou qui sont même reconnus par de nombreux codes nationaux du bâtiment. Par exemple, la Colombie prend en considération les conceptions parasismiques et les méthodes de construction impliquant le bambou dans le code national du bâtiment. En raison de la large disponibilité du bambou dans les pays en développement, les produits de bambou récoltés ont un fort potentiel de pénétration du marché et des opportunités du transfert sud-sud.

Faisabilité de la mise œuvre

La faisabilité de la mise en œuvre des matériaux et produits puits de carbone et à faible teneur en carbone est élevée. Elle est souvent tributaire de la volonté des architectes à concevoir et à spécifier ces produits, et de l'acceptation par les promoteurs du bâtiment. Elle dépend aussi de la disponibilité locale des produits. Quatre facteurs clés de succès facilitant ces actions comprennent:

1. **La prise de conscience générale**, qui peut être construite à travers des campagnes d'éducation du public, des programmes de développement professionnel pour les professionnels et les promoteurs du bâtiment et de la construction, et soutenue par des projets de démonstration.
2. **La disponibilité locale des matériaux et des produits**. Un mécanisme de facilitation est important afin de créer le marché et de faciliter le développement de l'industrie des matériaux de construction locaux. Ces matériaux et produits doivent également être constamment mis à niveau pour être technologiquement en bon état et rentables.
3. **Le soutien institutionnel** joue un rôle important dans la promotion de la reconnaissance, dans le développement et l'utilisation de matériaux et produits puits de carbone à faibles émissions de carbone. Un des outils les plus efficaces est l'étiquetage vert et les systèmes d'étiquetage carbone couplés avec des programmes de certification pour les matériaux et produits de bâtiment. Ces systèmes d'étiquetage peuvent être mis en place par des organismes gouvernementaux ou par des ONG de renom.
4. **Le renforcement des capacités** est un moyen utile pour mettre à jour les professionnels locaux et les mains d'œuvre techniques sur les matériaux et produits puits de carbone et à faibles émissions de carbone, existants et nouveaux.
5. **La recherche et le développement**. Une des formes de collaboration les plus efficaces est les programmes de recherche et de développement ciblés entre les universités, l'industrie et les organismes gouvernementaux. Les objectifs sont d'identifier et de développer de nouveaux matériaux et produits puits de carbone potentiels, et leurs utilisations innovantes.

Contributions au développement social, économique et environnemental

Les matériaux et produits puits de carbone et à faible teneur en carbone offrent une option clé d'atténuation pour le secteur du bâtiment tout en contribuant au développement social et économique, en particulier dans les pays en développement.

Les matériaux puits de carbone et à faible teneur en carbone substituent les matériaux classiques à forte teneur en carbone et réduisent leur demande. Les bâtiments ont une longue durée de vie. Les produits ligneux récoltés durables utilisés dans les bâtiments, offrent une préservation à long terme et un puits pour le carbone absorbé dans les produits ligneux. Lorsque des règlements stricts sont mis en place pour les sources de produits ligneux récoltés, la demande pour les forêts gérées d'une manière durable va augmenter, ce qui en retour crée une source stable pour les PLR d'une manière légale. En conséquence, plus de carbone peut être absorbé par l'atmosphère et des emplois verts peuvent être créés davantage, dans les secteurs du bâtiment et de la foresterie, contribuant ainsi à l'économie verte.

Figure 4.10.4: Estimation des économies en émissions de carbone provenant de la substitution d'un mètre cube de bois par divers composants du bâtiment [par référence à Ruter (2011)]

Composants substitués du bâtiment	Mur de briques	Tapis	Fenêtre en aluminium
Composants substitués du bâtiment (bois) (1 mètre cube d'équivalence)	Cloison en bois	Plancher en bois	Fenêtre en bois
Estimation des réductions des émissions (1 tonne métrique de CO ₂ d'équivalence)	1.66	1.38	7.71

L'utilisation généralisée des matériaux et produits de construction à faible teneur en carbone favorise également le développement environnemental et socio-économique local. L'utilisation de matériaux et de produits disponibles localement non seulement réduit l'utilisation de matériaux à forte teneur en carbone, mais réduit également le carbone gris du transport à longue distance. Ceci soutient également le développement des industries locales, qui à leur tour fournissent des emplois pour les résidents locaux. En outre, l'utilisation croissante des matériaux recyclables et des déchets industriels réduit la nécessité pour le traitement et l'élimination des déchets, réduit l'extraction des ressources naturelles et de l'énergie nécessaire. Cette volonté crée également une économie d'échelle pour réduire le coût de la production des matériaux recyclés; augmente la demande pour les matériaux, qui à son tour aide à créer une boucle positive de retour d'information; et rend l'utilisation des matériaux et produits à faible teneur en carbone une pratique courante.

Besoins financiers

Parce que les matériaux et produits de construction sont nécessaires pour créer un bâtiment, les besoins financiers représentent une question moins importante comparée à celle d'autres technologies d'atténuation. De vrais matériaux et produits puits de carbone et à faible teneur en carbone ne doivent pas entraîner un besoin d'investissement supplémentaire. Leur coût peut potentiellement être encore plus faible que celui des produits à forte teneur en carbone, en raison de la disponibilité locale qui permet d'économiser sur les coûts de transport, et qui réduit les coûts des ingrédients en raison de matériaux recyclés ou dérivés qui sont substitués par les matières premières vierges. En outre, de nombreux matériaux et produits ligneux sont classiquement utilisés dans les bâtiments depuis longtemps avant la prise de conscience du changement climatique. Par conséquent, l'utilisation de produits ligneux récoltés n'engage pas de coûts d'investissement supplémentaires.

Étude de cas

Les maisons de bambou antisismiques, province de Sichuan, la Chine:

Le projet fait partie de l'effort massif de reconstruction de la zone sinistrée du Sichuan en 2008. Vingt maisons ont été construites avec de nombreux composants de construction en bambou, qui sont disponibles localement en grandes quantités. En fait, un tiers des espèces de bambou de la Chine peut être trouvé dans le Sichuan, où la production industrielle de bambou est évaluée à plus de 7 milliards de Yuans (People's Daily En ligne, 2010).

Les maisons servent comme un projet de démonstration, mais servent aussi à étudier la faisabilité et l'utilisation des maisons de bambou préfabriquées et modulaires en termes de leur capacité à résister à de forts séismes. La teneur élevée en fibres du bambou produit une résistance à la traction élevée et une bonne résistance aux chocs, rendant ainsi le bambou approprié pour les bâtiments dans les zones sujettes aux séismes. Les maisons ont été achevées avec succès en moins de trois mois de conception et de construction. Les performances de la maison, telles que la durabilité, l'isolation, l'acoustique, et la qualité de l'air ont été surveillées et les expériences ont été partagées lors d'un atelier (INBAR, 2010).

4.11 Construire des systèmes de verdure intégrés relatifs aux bâtiments et les rendre plus « verts »

La technologie

Rendre l'environnement bâti plus « vert » est l'une des options d'atténuation les plus réalisables et les plus rentables pour les secteurs du bâtiment dans les zones rurales et les zones urbaines de faible densité.

Les techniques simples, telles que la fourniture d'un jardin et d'un étang, peuvent être trouvées dans les maisons traditionnelles dans de nombreux pays. Prenons l'exemple de l'environnement d'une maison traditionnelle au Vietnam; les plantes dans le jardin fournissent des légumes et des fruits, absorbent le dioxyde de carbone, offrent de l'ombrage et refroidissent la température ambiante. L'étang collecte les eaux pluviales, fournit de l'eau pour l'irrigation du jardin, et peut être utilisé pour élever des poissons, et crée un microclimat agréable à travers le refroidissement par évaporation.

La construction de systèmes de verdure intégrés permet la fourniture de verdure au-delà du jardin et de la cour classiques, au bâtiment lui-même (comme le toit et la façade) et deviennent même une partie du bâtiment (comme une terrasse sur le toit). Ces technologies sont pertinentes dans les milieux urbains de forte densité, où la terre est rare. Elles offrent de multiples avantages, comme l'abaissement de la température ambiante, le fait d'agir comme un isolant supplémentaire pour les surfaces de toit et des murs, réduisant ainsi la charge de refroidissement et économisant de l'énergie. Les plantes absorbent aussi le dioxyde de carbone, aident à purifier l'air, et fournissent un bel aspect visuel.

Figure 4.11.1: Les systèmes de verdure intégrés au bâtiment



Les toits verts sont couverts amplement par la végétation, comme l'herbe ou les arbustes en utilisant une structure de soutien intégrée. Ce système comprend souvent un substrat, un filtre, une irrigation, des systèmes de stockage et de drainage de l'eau ainsi qu'une surface /structure de toit étanche à l'eau. L'installation in-situ est une application classique du toit vert. Elle implique l'assemblage du toit vert couche par couche directement sur le toit. La taille et la forme des couches sont configurées en fonction de la conception du toit. Les toits verts sont conçus pour être légers et ne peuvent généralement pas assumer des activités lourdes, ils assument l'entretien uniquement.

Les jardins du toit, les jardins balcon et les terrasses en plein ciel sont des jardins avec des plantes situées sur les toits, les balcons et les terrasses de bâtiments avec l'accessibilité pour les activités en plein air. Les plantes dans ces jardins peuvent être plus variées et incluent souvent les arbres en plus de l'herbe et des arbustes. Selon le type des plantes, la profondeur du sol est généralement comprise entre 0,2m à plus de 1m (NParks, 2002). L'arrosage intégré, le drainage et l'étanchéité de la surface du toit sont les éléments communs d'un jardin sur toit.

Les façades/murs verts permettent aux plantes de pousser sur les surfaces de façades/murs du bâtiment à travers divers moyens, à savoir des lianes avec des racines auto collantes sur les surfaces murales, des plantes rampantes (grimpantes) sur maille ou support de câble, et des panneaux porteurs avec des plantes pré-cultivées fixées verticalement sur les murs (NParks, 2009). Les structures légères de soutien peuvent être faites de matériaux à base de polypropylène ou de tissu synthétique, tandis que les milieux légers de croissance consistent principalement en des pierres volcaniques.

Figure 4.11.2: Types communs de façades/murs verts

Lianes sur les surfaces de mur

Support en maille/câble

Panneaux porteurs

Bien que les systèmes de verdure intégrés du bâtiment ne soient pas un nouveau concept, leur utilisation a été choisie ces dernières années, offrant des possibilités pour de futures voies de recherche et de développement, d'innovation et d'amélioration.

Un domaine important de recherche et de développement en cours de progression concerne la sélection des plantes pour les différentes régions climatiques et les différents systèmes de verdure. Pour les utilisations du toit vert et des façades/murs verts, la végétation sélectionnée doit être en mesure de prospérer sous un soleil intense et doit être résistante à la sécheresse. Sélectionner des plantes avec des racines peu profondes est une condition pour répondre au critère de la légèreté et de la nature à faible entretien des systèmes de toits verts. Les autres critères de la sélection des plantes sont:

1. Les plantes avec une couverture de feuilles plus épaisse et plus dense pour un meilleur effet d'ombrage et une meilleure performance thermique
2. L'utilisation de plantes indigènes pour nourrir la biodiversité locale.

En ce qui concerne l'aspect technologique, la performance des systèmes de verdure intégrés du bâtiment a été améliorée, grâce au développement du nouveau système de substrat, à l'intégration de systèmes d'irrigation automatiques avec détecteurs de pluie et l'intégration de systèmes de drainage. Ces technologies contribuent à rendre les systèmes de verdure plus légers, plus économiques en eau, avec moins d'entretien intensif et contribuent à éliminer les problèmes potentiels de fuite d'eau.

L'utilisation de toits verts et des façades/murs verts change aussi de l'utilisation in situ (à savoir l'assemblage du toit vert couche par couche directement sur le toit) à l'utilisation modulaire. Cette utilisation permet un temps d'installation plus court, un risque minimum de matériaux de construction nuisibles, une flexibilité dans la conception (en termes de mélange et d'appariement des différents types de plantes pour créer des modèles de conception intéressants) et une facilité d'entretien et de remplacement.

Dans les toits verts, les modules sont de petits plateaux avec des tailles de 0,25 à 2 m². Chaque plateau est équipé de drainage, d'irrigation goutte à goutte (optionnel), de couche de filtre, substrat, de couche de médias et d'herbe/arbustes. Dans les façades /murs verts, la modulation est applicable pour les types de système support. Chaque plaque de support est un module avec une profondeur allant de 100 mm à 250 mm. Les modules peuvent être alignés sur une structure métallique, qui est fixée sur la surface de la façade/mur. Les tuyaux d'irrigation et de drainage sont reliés entre les modules et cachés à l'intérieur ou derrière la structure.

Figure 4.11.3: Système modulaire de façade verte, intégré avec les technologies d'irrigation et d'auto drainage



Prérequis de l'application

Les systèmes de verdure intégrés au bâtiment sont les plus utiles et les plus réalisables dans les villes et les zones densément peuplées. Pour contrebalancer l'environnement dense du bâti, ces zones de verdure créent des espaces alternatifs pour les jardins, les activités de loisirs, les espaces ouverts et créent un environnement agréable pour la vie urbaine. Les systèmes de verdure intégrés au bâtiment sont les plus appréciés dans les régions tropicales et dans les régions tempérées durant les mois d'été. Dans de telles conditions climatiques, les plantes prospèrent et ainsi optimisent leurs avantages environnementaux. Cependant, ces systèmes peuvent ne pas être appropriés dans les régions climatiques chaudes ou arides, où la plupart des plantes ne peuvent pas survivre à la chaleur.

Les différents systèmes décrits ci-dessus ont le même objectif d'intégration de la verdure aux bâtiments et partagent ainsi plusieurs questions qui nécessitent une attention et des solutions techniques. Ces questions sont relatives à:

1. La structure du bâtiment doit être capable de supporter des charges supplémentaires sur le toit et/ou sur les murs, selon les systèmes de verdure installés.
2. Les surfaces du sol du toit, de la terrasse en plein ciel/du balcon et la surface des façades doivent avoir une étanchéité correcte et des mesures visant à prévenir la pénétration des racines et les dommages structurels.

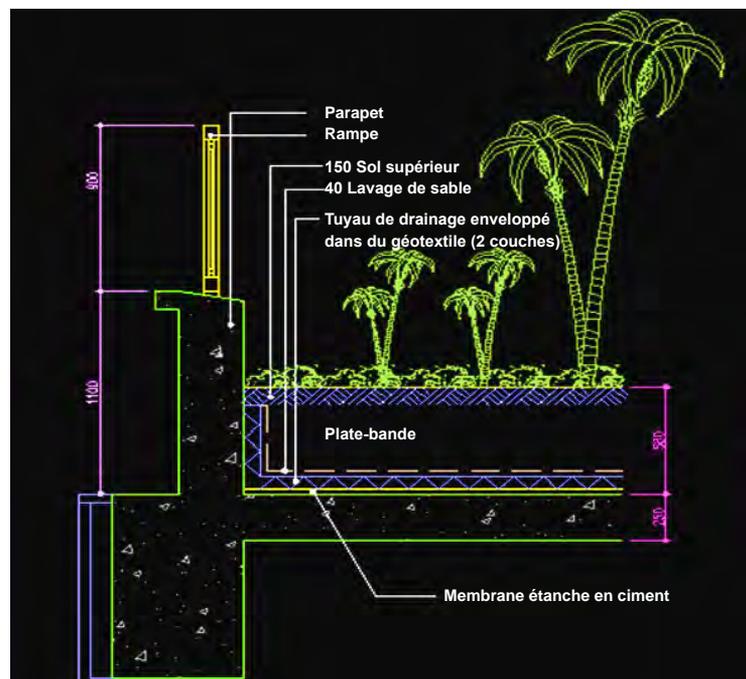
3. Le risque de plantes ou des branches d'arbres qui tombent des bâtiments doit être évité. Les mesures comprennent une sécurité supplémentaire d'arbres/plantes et des procédures de maintenance régulières.
4. L'irrigation, les systèmes de stockage de l'eau et de drainage doivent être conçus, installés et entretenus de manière appropriée en fonction des conditions climatiques locales.
5. Le substrat et les médias dans lesquels poussent les plantes devraient être légers et conçus de manière à permettre aux plantes d'avoir une pénétration de racines sécurisée.

Bien qu'il existe des exigences d'utilisation communes, les différents systèmes de verdure intégrés au bâtiment ont des exigences d'application distinctes:

Les toits verts sont appropriés le plus pour les bâtiments existants dans les zones urbaines. Ceci est dû au fait que leur système léger et l'inaccessibilité du public n'ajoutent pas de charges mortes supplémentaires importantes sur les toits existants, et ne soulèvent aucun problème de sécurité. Pour convenir à un toit vert, un toit de bâtiment existant doit être relativement plat, avec un accès pour l'installation et pour l'entretien périodique.

Les jardins sur toit, les jardins de balcon et les terrasses en plein ciel exigent des décisions de conception précoces pour les dispositions spatiale et structurelle afin de permettre des charges mortes supplémentaires et l'accessibilité pour les activités de loisirs. Par conséquent, ces systèmes sont pour la plupart installés dans les nouveaux bâtiments. La conception des terrasses en plein ciel devrait également permettre un rapport hauteur-profondeur approprié pour la pénétration de la lumière du soleil. Le rapport approprié varie d'une région à une autre, en fonction de la latitude et de l'orientation de la terrasse du plein ciel. Dans les régions tropicales, un rapport de 1:1 est considéré comme suffisant indépendamment de l'orientation. Cependant, en Europe de l'Est et au nord-est de l'Europe, il est déconseillé de placer les terrasses en plein ciel ou les jardins de balcon sur le côté nord du bâtiment, vu que les plantes ne peuvent pas pousser convenablement avec un accès à la lumière du soleil limité. De même, dans les régions de l'Amérique du Sud et en Afrique, les terrasses en plein ciel et les jardins de balcon doivent être placés sur le côté nord de l'immeuble pour l'accès à la lumière du soleil.

Figure 4.11.4: Détail en coupe du jardin sur toit



Les façades/murs verts peuvent être implémentés aussi bien sur les bâtiments neufs que sur ceux déjà existants. Ils peuvent être très efficaces en termes de réduction de gain de chaleur, si installés sur la façade faisant face à l'ouest d'un bâtiment. En outre, ils peuvent être stratégiquement placés pour cacher les éléments/composants indésirables des bâtiments, tels que les usines mécaniques et électriques. Pour les structures de soutien, les plantes sont pré-cultivées sur des panneaux avec un délai d'environ 3 à 8 mois selon le type de la plante. Lorsqu'elle est installée sur place, une structure de soutien peut fournir un effet luxuriant instantané. Cependant, pour les structures de soutien, il convient de noter que les plantes grimpantes peuvent prendre jusqu'à 3 à 12 mois pour pousser sur place (Chiang, 2009).

Figure 4.11.5: Façade verte d'une structure de soutien visant à couvrir une pièce d'usine mécanique



État d'avancement de la mise œuvre et pénétration du marché

Les toits verts: En raison de leur avantage limité; à savoir, l'inaccessibilité pour les activités de loisirs et les exigences d'entretien, les toits verts n'ont pas été largement implémentés. Leur utilisation vise principalement la modernisation des bâtiments existants qui ont des toits plats en béton. Cette configuration de bâtiments ne constitue qu'un petit segment du parc immobilier existant. Par conséquent, le potentiel du marché est limité.

Les jardins sur toit, les terrasses en plein ciel et les jardins de balcon. En raison du coût supplémentaire encouru pour s'approvisionner en supports structurels supplémentaires et les exigences de maintenance, ces systèmes de verdure intégrés des bâtiments sont principalement implémentés dans les bâtiments haut de gamme nouvellement construits. Cependant, le potentiel du marché pour les jardins sur toit est élevé dans les régions tropicales de la Chine et de l'Inde, où les taux de croissance de la population et de

l'urbanisation sont élevés tous les deux. Dans les villes à forte densité de ces pays, avec un coût de terrain élevé et une pénurie de terres, les jardins sur toit, les terrasses en plein ciel et les jardins de balcons offrent des espaces alternatifs pour les activités de loisirs en plein air et améliorent la biodiversité.

Figure 4.11.6: Les jardins sur toit créent une vue, améliore la connectivité et augmente la verdure et l'espace ouvert à l'Institut de l'Éducation Technique, Singapour



Les façades/murs verts: en raison des exigences de maintenance difficiles et fréquentes, les façades/murs verts ne sont pas largement implémentés et ont une pénétration de marché limitée. Ils sont principalement implémentés pour leur avantage esthétique dans les bâtiments institutionnels et dans les complexes de détail et de divertissement. Les avantages environnementaux sont souvent considérés comme un objectif secondaire. Toutefois, étant donné la grande superficie des surfaces du bâtiment dans un milieu urbain, les façades/murs verts ont un énorme potentiel d'être implémentés à une plus grande échelle afin de fournir un changement environnemental positif dans les villes densément peuplées (GRHC, 2008).

Faisabilité de la mise œuvre

Les systèmes de verdure intégrés du bâtiment sont plus réalisables pour la mise en œuvre en milieu urbain, en particulier dans les villes densément peuplées où les terres disponibles pour les jardins et la verdure sont en pénurie. Les prix élevés des terrains rendent difficile pour les promoteurs et les propriétaires d'immeubles de définir à part la superficie des terres suffisante pour les jardins classiques, les espaces ouverts et les espaces publics. Il est plus logique économiquement de fournir des espaces verts alternatifs intégrés dans les bâtiments afin de fournir des loisirs et, dans une certaine mesure, des activités communales. Le coût pour installer et maintenir des systèmes de verdure intégrés au bâtiment est facilement compensé par les prix élevés des terrains et par l'augmentation de la valeur de la propriété.

Sans l'intervention du gouvernement, la mise en œuvre des systèmes de verdure intégrés du bâtiment ne sera faite que d'une manière ad hoc par un petit groupe de promoteurs de bâtiment socialement engagés et respectueux de l'environnement. Les outils scientifiques de la politique peuvent faciliter l'utilisation généralisée des systèmes de verdure intégrés du bâtiment. Par exemple, à Singapour, le concept

du Green Plot Ratio (le taux de terrain vert) est conçu comme outil visant à quantifier les avantages environnementaux de l'intégration de la verdure dans les bâtiments à trois dimensions. Au lieu de mesurer l'approvisionnement en verdure d'un chantier de construction en termes d'une zone à deux dimensions - comme par exemple le pourcentage de la couverture verte (couverture de verdure) en Chine - le Ratio du Terrain Vert mesure l'indice de la surface foliaire totale sur un chantier de construction en utilisant une approche volumétrique, en tenant compte des murs verts, des toits verts, des jardins en plein ciel, etc. (Ong et al., 2003). Le Ratio du Terrain Vert a été adopté dans la réglementation du bâtiment, à savoir, le code de Singapour pour une durabilité environnementale des bâtiments.

Figure 4.11.7: La verdure comme partie intégrante de la conception du bâtiment, l'Université de management de Singapour, Singapour



Les incitations gouvernementales sont également nécessaires pour la mise en œuvre à grande échelle des systèmes de verdure intégrés des bâtiments. Dans plusieurs pays, les gouvernements incitent les promoteurs et les propriétaires de bâtiments à travers les méthodes de partage des coûts. A Singapour par exemple, le conseil des Parcs Nationaux administre le système d'incitation relatif au toit vert, dans lequel le gouvernement partage jusqu'à la moitié du coût de l'installation du toit vert, plafonné à 75 \$ par mètre carré pour les bâtiments dans les zones de centre-ville (NParks, 2010).

Inciter les politiques pour un système de verdure peut également être un catalyseur pour la mise en œuvre généralisée d'autres systèmes de verdure. A Tokyo, par exemple, le gouvernement de la ville a ciblé les jardins sur les toits, en mettant en place le programme d'appui à la création d'au moins 12 km² de jardins sur les toits en 2011. Plusieurs types de systèmes de verdure intégrés au bâtiment ont bénéficié de ce programme. Les façades vertes ont également attiré plus d'intérêt et ont été commercialisées aux architectes, aux entrepreneurs et aux promoteurs (Dunnnett et al., 2008).

Dans les régions où les professionnels du secteur du bâtiment et des métiers connexes ne sont pas familiers avec les systèmes de verdure intégrés aux bâtiments, le renforcement des capacités est nécessaire avant la mise en œuvre à grande échelle des technologies. Le renforcement des capacités devrait être dans les domaines suivants:

1. La planification, la conception des compétences et la sélection des plantes, de sorte que les systèmes de verdure intégrés aux bâtiments puissent contribuer positivement à la biodiversité locale et à l'écosystème.
2. Les techniques d'installation (pour les techniciens commerciaux), y compris l'étanchéité et les systèmes d'irrigation.
3. Les procédures de maintenance (les propriétaires de bâtiments et le personnel de gestion des installations).
4. La fabrication et la fourniture de composants légers pour les toits verts et les modules des façades/murs verts.

Contributions au développement social, économique et environnemental

L'intégration de systèmes de verdure dans les bâtiments apporte de nombreux avantages pour le développement environnemental, social et économique des villes et des zones fortement urbanisées.

Les avantages environnementaux comprennent:

1. La réduction des gains de chaleur pour les bâtiments dans les régions climatiques chaudes. Les résultats des recherches montrent que les toits verts peuvent réduire les températures des surfaces de toit de 30°C (Wong et al., 2003). De même, les façades vertes peuvent réduire la température immédiatement à l'extérieur de la façade par 5.5°C, créant une réduction de 50%-70% de la demande en énergie pour la climatisation (Peck et al., 1999).
2. La réduction de l'effet d'îlot de chaleur en zone urbanisée, en ombrageant les surfaces de bâtiment absorbant la chaleur, tels que le béton, la maçonnerie, les métaux, etc. Les toits verts peuvent réduire la température immédiate de l'air ambiant d'environ 40 ° C dans les régions tropicales (Wong et al., 2003).
3. L'absorption des particules en suspension dans l'air et l'amélioration de la qualité de l'air ambiant dans les milieux urbains. Les façades /murs verts situés à proximité des routes très fréquentées peuvent décomposer et absorber les composés organiques volatils et les hydrocarbures imbrûlés provenant de gaz d'échappement des véhicules (Chiang et al., 2009). Les lianes ont aussi une capacité bien développée à piéger et à filtrer la poussière dans les tissus (Johnston et al., 1993).
4. L'entretien et l'amélioration de la biodiversité en milieu urbain, en particulier lors de la sélection des espèces végétales indigènes et la coordination des systèmes de verdure intégrés dans les bâtiments dans un réseau plus vaste de verdure urbaine.
5. La réduction du ruissellement des eaux de pluies pendant les averses à travers la rétention des eaux pluviales assurée par le stockage de verdure et d'eau dans les systèmes de verdure intégrés aux bâtiments.
6. L'absorption du dioxyde de carbone pour la photosynthèse, agissant ainsi comme un puits de carbone.

Figure 4.11.8: Un effort pour promouvoir la biodiversité urbaine en fournissant des plantations en bandes, reliant la verdure sur le sol au jardin sur toit, le Solaris, à Singapour



Les avantages liés au développement social incluent:

1. La création de « valeur biophilique » pour les occupants des bâtiments et les habitants de la ville, en les encourageant à mener des modes de vie respectueux de l'environnement.
2. Le fait de fournir des lieux publics alternatifs pour les activités de loisirs et de renforcer les liens communautaires par le biais d'interactions possibles dans un cadre urbain où l'on trouve de grands bâtiments.

Les retombées économiques des systèmes de verdure intégrés aux bâtiments comprennent:

1. La réduction de la charge de refroidissement du bâtiment, entraînant une baisse de la consommation d'énergie et donc des économies pour les propriétaires/locataires des bâtiments.
2. L'amélioration de la qualité marchande pour les bâtiments et l'augmentation de valeur de la propriété, grâce à leur attrait esthétique croissant et à la « valeur biophilique » (Chiang et al., 2009).
3. La réduction de la fluctuation de la température diurne des toits et façades des bâtiments, conduisant à une réduction de la contraction et de l'expansion des matériaux, prolongeant ainsi la durée de vie des toitures et façades des bâtiments. Les résultats des recherches dans la région tropicale montrent que le changement de température entre le jour et la nuit sur un mur de béton typique est d'environ 10° C, alors que le changement de température sur un mur de béton similaire équipé d'un système porteur de verdure est de 1°C (Wong et al., 2009).
4. Le fait de favoriser la prospérité de nouvelles chaînes d'approvisionnement et la création de nouveaux emplois afin de soutenir une économie verte.

Figure 4.11.9: Mur vert et toit de verdure comme une barrière végétale pour un développement résidentiel bordant une route très fréquentée



Figure 4.11.10: Le mur vert contribue à réduire la fluctuation de la température diurne de la façade du bâtiment.



Besoins financiers

Les besoins financiers pour les systèmes de verdure intégrés aux bâtiments comprennent le coût d'investissement des produits et leur installation, et les coûts de maintenance. Ces coûts varient d'un système à un autre et d'une région à une autre. Ce qui suit représente des coûts et des considérations indicatifs.

Les toits verts. Le coût d'investissement pour un système léger, modulaire de toit vert à Singapour varie entre 150\$ et 400\$ par mètre carré (DLS, 2009). En Chine, le coût indicatif de l'investissement initial pour les toits verts varie entre 200 et 1000 Yuans par mètre carré (Actualités de l'immobilier de la Chine, 2010).

Les jardins sur les toits, les terrasses en plein ciel et les jardins de balcon. Les coûts d'investissement varient en fonction de la façon avec laquelle les jardins sont élaborés. Ces coûts sont similaires aux coûts de construction d'un jardin sur la terre normale plus des coûts supplémentaires pour une structure de bâtiment plus solide, pour des mesures d'étanchéité et des systèmes de drainage supplémentaires. Les coûts d'entretien sont également plus élevés par rapport à ceux d'un jardin sur terre.

Les façades/murs verts. Les coûts d'investissement pour les façades/murs verts varient en fonction du système. Le coût de la structure de soutien est inférieur à celui du système porteur, qui varie de 300\$ à 2000\$ par mètre carré. Cet intervalle de coût ne comprend pas les charpentes métalliques et l'irrigation goutte à goutte. Il est suggéré qu'un budget soit autorisé pour la replantation dans 1-2 ans (DLS, 2009).

Étude de cas

Les jardins sur les toits au dessus des parkings multi-étages intégrés sont devenus une caractéristique populaire pour les logements publics à forte densité à Singapour depuis 2000. Ces dispositions sont une réponse à la pénurie de terres dans la ville. Elles maximisent l'utilisation des terres en tant que parkings (abordant la question de l'environnement de la surface de parking classique) et fournissent en même temps des zones de jardin luxuriant sur le toit vert pour les résidents. La figure 4.11.11 montre un jardin sur toit typique dans le logement public de Punggol. Le toit du parking à plusieurs étages est couvert avec une verdure intensive et est accessible aux résidents des immeubles de logements environnants. Les résultats de la recherche montrent que la végétation peut empêcher la température du toit d'augmenter significativement en présence de fort ensoleillement. Sur une surface de toit sans plantes, la température de la surface peut augmenter à 58°C, tandis qu'un jardin sur toit a typiquement une température de surface inférieure à 31°C. La température de l'air ambiant dans le jardin sur toit peut également être inférieure à 4°C par rapport à un toit sans plantes (Wong, 2003). Ainsi, les jardins sur les toits non seulement fournissent une zone de verdure communale pour les activités de loisirs des résidents, mais aident aussi à refroidir la température ambiante et à réduire l'effet d'îlot de chaleur relatif à la zone urbaine.

Figure 4.11.11: Jardin sur toit d'un quartier de logements publics dans le quartier de Punggol, Singapour



4.12 Les technologies solaires

La technologie

Les technologies solaires facilitent l'extraction d'une source d'énergie renouvelable en exploitant la puissance du soleil. Il existe deux principes technologiques qui peuvent être utilisés pour atteindre cet objectif:

1. Collecter l'énergie thermique à partir du soleil (connu comme le solaire thermique)
2. Convertir la lumière en électricité (à travers le processus photovoltaïque).

Le solaire thermique et le photovoltaïque (PV) peuvent tous les deux être intégrés dans les bâtiments. Les utilisations du PV comprennent le photovoltaïque intégré au bâti (PVIB, acronyme anglais), les installations solaires domestiques (non-connectés au réseau) et les stations de recharge solaires. Les installations solaires domestiques et les stations de recharge solaires sont les plus appropriés pour une utilisation dans les régions rurales et les zones isolées où le réseau électrique n'est pas facilement disponible. La plupart des utilisations du PVIB sont connectées au réseau permettant le surplus de l'énergie produite d'être exporté vers le réseau.

Chauffe-eau solaire thermique. Dans sa forme la plus basique, le système se compose d'un collecteur et d'un réservoir de stockage de l'eau. Le collecteur est une plaque plane comprenant une feuille de métal de couleur noire avec des tubes de métal qui lui sont rattachés. La feuille métallique est soutenue par une couche d'isolation thermique, et est recouverte sur le dessus d'un panneau de verre afin de réduire la perte de chaleur par convection et de fournir une protection contre les intempéries. Le tube collecteur est relié à un réservoir d'eau qui est situé au-dessus du collecteur. Le collecteur absorbe le rayonnement de la chaleur solaire qui est transmis à l'eau circulant dans le tube métallique. L'eau chauffée monte alors et est

stockée dans le réservoir d'eau par convection naturelle. L'eau froide remplit automatiquement l'espace dans le tube métallique.

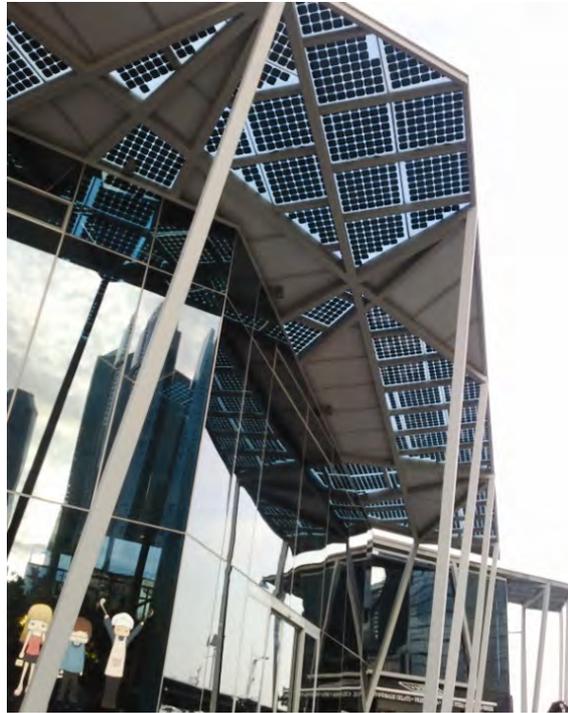
Récemment, l'utilisation de l'énergie solaire thermique a été développée afin d'inclure les systèmes à double usage, combinant à la fois le chauffage de l'eau et le chauffage de l'espace (systèmes-combi). Ces systèmes réduisent la consommation d'énergie pour le chauffage d'espaces pendant la saison d'hiver pour les bâtiments situés dans les régions tempérées. L'inconvénient est que les systèmes doivent décharger le surplus de chaleur pendant la saison chaude. Ce problème a été résolu en combinant la climatisation solaire aux systèmes-combi, ce qui optimise l'utilisation annuelle des technologies solaires thermiques (Trois et al., 2008). La climatisation solaire peut être utilisée dans les régions climatiques chaudes. Au cours d'une journée normale, la demande maximale pour le refroidissement de l'espace correspond au pic du rayonnement solaire. Ainsi, la mise en œuvre à grande échelle de la technologie de climatisation solaire contribuera à réduire les charges maximales de l'électricité.

Figure 4.12.1: Chauffe-eau solaire thermal (gauche), panneau photovoltaïque (droite)



PVIB. Un système PVIB se compose de panneaux photovoltaïques et d'un onduleur CC-CA. Un panneau photovoltaïque comprend une série de cellules connectées faites de matériaux semi-conducteurs. Lorsque les modules photovoltaïques sont exposés à la lumière du soleil, ils génèrent un courant continu (CC), le plus souvent converti en courant alternatif (CA), une forme ordinaire d'électricité qui peut être utilisée dans la plupart des appareils et systèmes d'éclairage actuels. Le courant CA peut ensuite être introduit dans l'un des tableaux de distribution à courant alternatif du bâtiment, ou connecté au réseau électrique principal. Les panneaux photovoltaïques qui sont intégrés dans les dispositifs de toit, de façade, de puits de lumière ou de protection solaire, sont appelés « technologies du photovoltaïque intégrées au bâti » (PVIB). Avec le PVIB, les modules PV sont généralement utilisés comme substitut à d'autres éléments de construction, par exemple les dispositifs de protection solaire, compensant ainsi une partie du coût.

Figure 4.12.2: Les panneaux PV comme partie intégrante de la conception d'un bâtiment



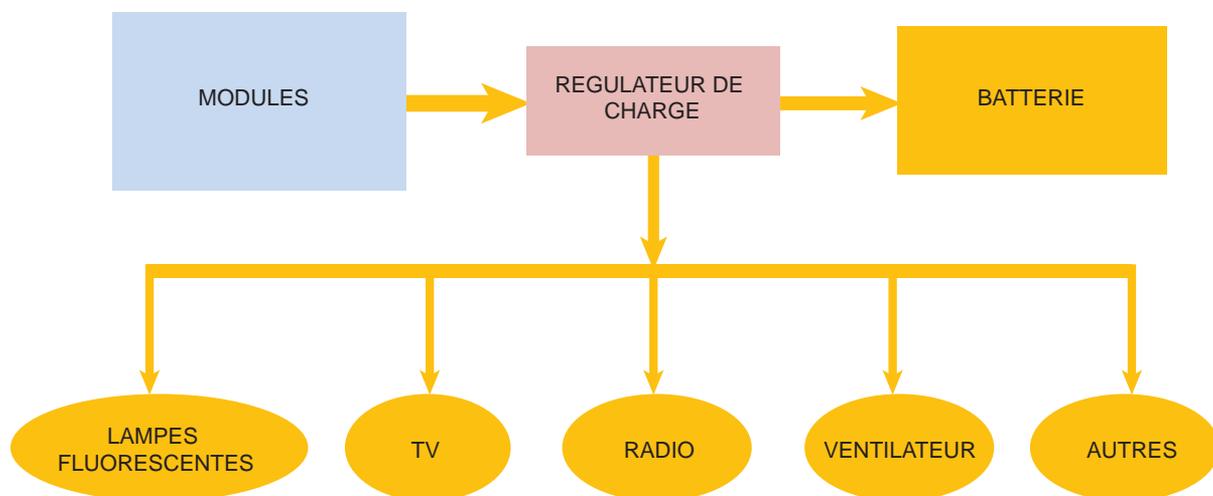
Bien qu'ils soient considérés comme une technologie éprouvée, les PV sont encore en cours de recherche et de développement dans le but d'augmenter l'efficacité de la production d'énergie et de réduire les coûts de fabrication. Les technologies les plus communément utilisées du PV peuvent être classées en deux groupes: silicium cristallin et couches minces. Les technologies du silicium cristallin représentent la majorité de la production de cellules PV, tandis que la couche mince est plus récente, moins performante, mais de plus en plus populaire (EMA et BCA, 2009).

Figure 4.12.3: PVIB: modules PV disposés en sandwich entre les panneaux de verre d'un puits de lumière au dessus d'un atrium



Installation solaire domestique: est développée sur la base des technologies photovoltaïques (PV) et intégrée aux appareils à CC (courant continu). C'est la technologie la plus appropriée utilisée dans les régions isolées et rurales qui n'ont pas accès au réseau d'électricité (Grimshaw et al., 2010). La technologie a été mise en place dans les villages isolés d'Afrique et d'Asie. Un système typique se compose d'un module PV de 10 à 50 Watt crête, d'un régulateur de charge, d'une batterie de stockage, et d'équipements à utilisation finale variée qui fonctionnent au courant continu CC (par exemple les lampes fluorescentes, la radio, la télévision, le ventilateur, etc.).

Figure 4.12.4: Diagramme d'une installation solaire domestique typique



Station de recharge solaire: c'est une autre application des technologies photovoltaïques. Une station de recharge solaire classique comprend un/des module (s) photovoltaïque(s) pour produire de l'électricité, un régulateur de charge pour normaliser la tension, et un groupe de batteries pour stocker l'électricité à CC. L'électricité à partir du groupe de batteries peut ensuite être utilisée afin de charger les batteries pour divers usages, tels que les lumières, les téléphones portables et d'autres appareils basés sur le CC.

Prérequis de l'application

Les technologies solaires sont plus performantes dans les régions et aux saisons où l'intensité du soleil est la plus forte avec de longues heures d'ensoleillement. Les toits du bâtiment sont l'endroit le plus logique pour l'installation des technologies solaires thermiques et du photovoltaïque. Avant l'installation d'un grand nombre de panneaux solaires, il est important de s'assurer que la structure du toit soit assez solide pour supporter leur poids. L'accessibilité pour l'entretien doit également être prévue. Il est recommandé que les inspections préventives et la maintenance soient effectuées tous les 6 à 12 mois. L'inspection inclut la vérification des signes de dommages, l'accumulation de saleté ou l'empiètement de l'ombre (BCA & EMA, 2009).

Chauffe-eau solaire thermique. Ces systèmes sont le plus souvent utilisés dans les zones urbanisées qui ont accès à un approvisionnement stable en eau. La stabilité de l'approvisionnement en eau est nécessaire pour le fonctionnement automatique des chauffe-eau solaires thermiques. Dans ces systèmes, la pression du système d'approvisionnement en eau doit être suffisamment élevée pour permettre le remplissage automatique de l'eau dans les tuyaux du chauffage. La pression de l'alimentation d'eau peut être fournie par le système principal d'approvisionnement en eau de la ville, ou peut être localement produite par pompage de l'eau à un niveau plus élevé que celui du chauffe-eau solaire thermique installé.

La deuxième option nécessite de l'électricité pour le pompage, ce qui réduira la rentabilité et l'efficacité énergétique du système. Cependant, une fois installés, les chauffe-eau solaires thermiques ne nécessitent pas beaucoup de maintenance.

Figure 4.12.5: Installation solaire thermique sur le toit d'un bâtiment



PVIB, installation solaire domestique et station de recharge solaire. La technologie de base de ces trois systèmes est le PV. La condition essentielle de l'application du photovoltaïque est que les emplacements soient directement exposés au soleil et ne soient pas ombragés. Cela est dû au fait que les modules photovoltaïques, les technologies de silicium cristallin, en particulier, sont très sensibles à l'ombrage. Prenons un module constitué de 36 cellules photovoltaïques à titre d'exemple, si une cellule est ombrée, au lieu de produire, la cellule peut consommer l'énergie produite par les autres cellules, en raison de leur connectivité en chaîne. La production de l'électricité de l'ensemble du module peut être, dans ce cas, réduite jusqu'à 50%. Par conséquent, l'ombrage doit être évité. Les mesures préventives comprennent l'entretien périodique pour nettoyer la surface des modules (par exemple, la poussière accumulée et/ou les déjections d'oiseaux).

Afin de maximiser le rendement, les panneaux photovoltaïques doivent être fixés de sorte qu'ils soient directement face du soleil. Dans les régions tempérées, comme l'Europe de l'Est, les panneaux photovoltaïques doivent être installés avec un angle de pente approprié orienté vers le sud, tandis que, dans les régions tropicales, en particulier dans les régions proches de l'équateur, les panneaux photovoltaïques montés à plat sans angle d'inclinaison fournissent le meilleur rendement. Cependant, les panneaux photovoltaïques montés à plat traduisent de pauvres performances d'auto-nettoyage et ont tendance à accumuler de la poussière, ce qui entraîne parfois de l'ombrage aux cellules et diminue les rendus du système. Un léger angle d'inclinaison de 3 à 5 degrés, afin de permettre à l'eau de pluie d'être évacuée convenablement et de promouvoir l'auto-nettoyage, est utile et acceptable. Un entretien régulier est requis.

État d'avancement de la mise œuvre et pénétration du marché

L'énergie solaire est considérée comme l'une des technologies d'énergie renouvelable les plus prometteuses. L'Agence Internationale de l'Énergie estime que la contribution de l'énergie solaire à la demande mondiale de l'électricité va passer d'environ 0,02% en 2007 à environ 1% en 2030 (AIE, 2009). Le GIEC indique qu'en 2003, il y avait plus de 132 millions de mètres carrés de surface de capteurs solaire pour le chauffage de l'espace et de l'eau dans le monde entier (Levine et al., 2007). La Chine

représente près de 51,4 millions de mètres carrés, suivie par le Japon avec 12,7 millions de mètres carrés, et la Turquie avec 9,5 millions de mètres carrés (Weiss et al., 2005). Reconnaisant le potentiel élevé de l'énergie solaire, les gouvernements du monde entier lui accordent de l'attention et préparent son développement à grande échelle. Cela crée une forte pénétration du marché pour les technologies solaires. Par exemple, en Chine, le taux de croissance annuel de la zone installée par les panneaux solaires a été stable à environ 27% de 2000 à 2005 (Abbaspour et al., 2005). Le marché solaire Chinois a ciblé au début les installations dans les villages et les petites villes, mais il s'est récemment développé dans les zones urbanisées.

Les marchés actuels et potentiels pour le lancement à grande échelle des technologies solaires se trouvent dans les milieux et zones rurales dépourvus de réseaux électriques. Dans ces zones, le coût pour installer l'énergie solaire peut généralement être justifié quand on le compare au coût élevé de l'infrastructure destinée à étendre le réseau électrique ou à construire une centrale électrique.

Chauffe-eau solaire thermique. Les chauffe-eau solaires thermiques ont joui d'une bonne pénétration du marché par rapport aux technologies photovoltaïques, qui sont considérées comme plus coûteuses. A Rizhao, en Chine par exemple, 99% des foyers utilisent des chauffe-eau solaires (Grimshaw et al., 2010).

L'approvisionnement en eau chaude dans les régions non tempérées peut être considéré comme un problème moins crucial et peut même être considéré comme luxueux, comme dans le cas de l'Afrique. On observe que la majeure partie des chauffe-eau solaires thermiques utilisés dans ce pays est achetée par les ménages à revenu élevé et les grands établissements commerciaux tels que les hôtels (Karekezi, 2002). L'utilisation de l'eau chaude, et donc le besoin et le marché potentiel pour les chauffe-eau solaires thermiques, sont plus pressants dans les régions climatiques plus froides, comme les villages ou les villes des pays du nord-est de l'Europe, les régions montagneuses des Andes et de l'Himalaya (SEPCO, 2010).

Technologies photovoltaïques: les technologies liées au PV, telles que le PVIB, les installations solaires domestiques et les stations de recharge solaires, demandent un capital d'investissement important et ont des exigences d'installation plus strictes en raison de leur sensibilité à l'ombre, et ce par rapport à l'énergie solaire thermique. Par conséquent, les technologies PV ont jusqu'à présent une pénétration de marché plus faible. Cependant, les résultats de recherches montrent que presque tous les pays en développement ont un énorme potentiel d'énergie solaire. Par exemple, de nombreuses régions de l'Afrique ont 325 jours de fort ensoleillement chaque année. Cela peut conduire à une moyenne de plus de 6 kWh d'énergie récoltée par mètre carré par jour (Grimshaw et al., 2010).

Les marchés futurs pour les technologies photovoltaïques comprennent les milieux urbains, en particulier lorsque les systèmes de réseaux intelligents et les mesures politiques d'incitation à favoriser un tarif de rachat à partir des énergies renouvelables, deviennent plus fréquents.

Faisabilité de la mise œuvre

L'expérience montre que la disponibilité de forts appuis institutionnels, en particulier les politiques d'incitation et les mécanismes financiers de soutien, sont les premières étapes clés pour rendre les technologies solaires plus fréquentes.

Ceux-ci comprennent, mais ne sont pas limités à:

1. La réduction/suppression des subventions pour l'approvisionnement en électricité à partir de combustibles fossiles.

2. La réduction/suppression des droits d'importation sur les composants des technologies solaires.
3. L'identification claire des plans d'expansion du réseau électrique (pour les zones rurales et éloignées), et leur communication claire au public. Cela est nécessaire pour calculer les périodes de retour sur investissement utilisées dans les processus de prise de décision relatif au fait d'investir et de mettre en œuvre les technologies solaires hors réseau, telles que les installations solaires domestiques et les stations de recharge solaire.
4. La mise en place de réseaux intelligents et de mesures d'incitation aux tarifs de rachat (dans les zones urbanisées) comme plate-forme pour promouvoir l'utilisation des technologies photovoltaïques liées au réseau, telles que le PVIB.

Dans les régions où les technologies solaires n'ont pas été implémentées ou seulement en ad hoc, la recherche et le développement sont une première étape importante pour déterminer la faisabilité de la mise en œuvre. Les points de priorité comprennent:

1. Collecter le rayonnement solaire local, l'intensité et la lumière du soleil disponibles au cours des différentes saisons.
2. Rechercher les technologies et les produits solaires les plus appropriés, efficaces et rentables pour un déploiement à grande échelle.
3. Établir des modèles de gestion viables et des mécanismes financiers pour un retour sur investissement raisonnable.

Ces activités peuvent être réalisées grâce à la création d'un institut de recherche qui peut être sous la forme de collaboration avec le gouvernement et les universités locaux.

Le renforcement des capacités devrait porter sur le domaine des connaissances techniques, les techniques de conception pour les professionnels, la construction, les compétences d'installation pour les techniciens, et le domaine de l'inspection et de l'entretien pour les propriétaires de maison /biens immobiliers et le personnel de gestion des installations.

Contributions au développement social, économique et environnemental

Les technologies solaires jouent un rôle important et prometteur dans l'atténuation du changement climatique par le remplacement de la production d'électricité provenant de combustibles fossiles. Prenant les installations solaires domestiques à titre d'exemple, un système typique de 10 à 50 Wc (Watt crête) substituera directement environ 0,15 à 0,3 tonne de CO₂ annuellement par les combustibles fossiles (Kaufman, 1990).

En ce qui concerne l'aspect du développement social, les technologies solaires améliorent la qualité de vie et contribuent à un environnement sain. Les chauffe-eau solaires thermiques fournissent l'eau chaude à des millions de personnes dans la région montagneuse d'Himalaya et en Chine. L'utilisation d'installations solaires domestiques réduit le besoin de stocker et de brûler le kérosène pour l'éclairage, est bénéfique pour la santé et réduit les risques d'incendie pour les villageois en Afrique et en Asie rurale. Les installations solaires domestiques rendent également l'information et le divertissement accessibles dans les zones rurales puisqu'ils permettent l'utilisation de la radio et de la télévision.

En termes de développement économique, les technologies solaires apportent des avantages directs aux ménages et aux économies régionales/nationales. Le Quatrième rapport d'évaluation du GIEC estime que

le PVIB pourrait générer suffisamment d'énergie pour répondre à 15% de la demande totale d'électricité nationale au Japon, et près de 60% aux États-Unis (Levine et al., 2007). Au niveau des ménages, l'application de PVIB réduit les frais mensuels de l'électricité et fournit la possibilité pour les propriétaires d'immeubles de vendre l'électricité excédentaire au réseau. L'installation de stations de recharge solaires offre des opportunités pour les nouvelles entreprises qui sont respectueuses de l'environnement. Le déploiement à grande échelle des technologies solaires, grâce au renforcement des capacités, fournit de nouvelles compétences et sources de revenus pour la main d'œuvre locale. Des études ont montré que l'investissement dans les technologies solaires créerait des emplois supplémentaires, même dans les pays du Moyen-Orient riches en pétrole comme l'Iran (Abbaspour et al., 2005).

Besoins financiers

Les besoins financiers pour les technologies solaires comprennent les coûts d'investissement des produits et de l'installation et les coûts de maintenance. En général, on s'attend à ce que le coût d'investissement des technologies solaires diminue à la suite de l'amélioration de la technologie et l'augmentation de la production de masse, rendue possible grâce à une demande de la part du marché plus élevée. Les composants de coût varient également en fonction des technologies et selon si les produits sont produits localement ou importés. Ce qui suit représente quelques chiffres et considérations indicatifs:

Chauffe-eau solaire thermique. Dans la région des Caraïbes, un chauffe-eau solaire thermique pour un ménage normal coûte entre 1500 \$ et plus de 2000 \$. Ce coût d'investissement initial a une période de retour sur investissement de 2 à 2,5 ans dans la plupart des îles des Caraïbes, (Escalante, 2007). En Inde, le coût d'investissement d'un chauffe-eau solaire thermique est compris entre environ 15000 INR et 45.000 INR.

PVIB. Le coût d'investissement initial d'un système PVIB est élevé, alors que les coûts d'exploitation sont négligeables au cours de la période de garantie. En règle générale, après la période de garantie, le coût annuel de l'entretien peut représenter de 0,5% à 1% du coût d'investissement. Il est également observé que, historiquement, le coût du PV a diminué d'environ 4% par an. Si la même tendance continue, il faudra environ dix ans de plus au PV pour devenir concurrentiel (EMA et BCA, 2009). A Singapour, le coût d'investissement pour le PV varie de 8 \$ à 12 \$ par Wp avec une période de garantie normale de 25-30 ans (DLS, 2009).

Installations solaires domestiques. Le coût d'investissement d'une installation solaire complet en Afrique est généralement compris entre 250 \$ et 630 \$ (Davies, 2010). Il a été rapporté qu'une installation solaire domestique en Afrique a une période de retour sur investissement de moins de deux ans, en combinaison avec les mécanismes financiers adéquats (Grimshaw et al., 2010).

Étude de cas

Le Collège Barefoot à Tilonia, en Inde, est bien connu pour au moins deux aspects liés aux technologies solaires. Tout d'abord, le campus est un campus alimenté par une électricité provenant entièrement du soleil. Il a été conçu et construit par une équipe de résidents ruraux de Tilonia pour leur propre communauté rurale. Le campus dispose de 45 kW de modules PV, générés grâce à 5 banques de batteries. Les systèmes photovoltaïques produisent de l'électricité pour 500 lampes, des ventilateurs, une photocopieuse et plus de 30 ordinateurs et imprimantes (le site web du collège Barefoot). Deuxièmement, le Collège Barefoot offre un programme de formation unique que les hommes et les femmes ruraux deviennent des spécialistes et des techniciens solaires.

Le programme de formation s'est développé hors de l'Inde pour atteindre l'Afghanistan, la Jordanie et d'autres pays en Afrique. Le programme accepte seulement les étudiants sans éducation formelle qui vivent dans les zones rurales et isolées. Les étudiants passent normalement environ six mois au Collège Barefoot pour apprendre davantage sur les technologies solaires, avant de retourner à leur village natal pour y mener des activités qui favorisent la mise en œuvre des technologies solaires dans leurs propres communautés. L'aide financière aux étudiants est souvent accordée par les soutiens/programmes de gouvernement à gouvernement, tels que le programme technique de la coopération économique de l'Inde (Luck, 2010).

4.13 Les éoliennes intégrées au bâtiment

La technologie

Les technologies de l'énergie éolienne peuvent être classées en deux catégories; les macro- éoliennes qui sont installées pour la production d'énergie à grande échelle comme les fermes éoliennes, et les micro-éoliennes utilisées pour la production de l'électricité locale. Les micro-éoliennes conviennent pour une utilisation dans les bâtiments et sont appelées les « éoliennes intégrées au bâtiment ». Les principaux composants d'une éolienne sont les lames, le rotor, le multiplicateur (boîte à vitesses) et le générateur. Les petites éoliennes ont été initialement conçues avec un axe horizontal, connues également comme EAH (éolienne à axe horizontal). Pour réduire le besoin d'une haute tour, et pour des raisons esthétiques, les éoliennes à axe vertical (EAV) sont devenues de plus en plus populaires pour les utilisations intégrées aux bâtiments. En outre, les EAV sont également plus silencieuses (conduisant à de moins de nuisances sonores) que les EAH durant leur fonctionnement.

Figure 4.13.1: Éolienne à axe horizontal (EAH)



Les éoliennes peuvent être connectées au réseau ou hors-réseau. Les systèmes hors-réseau nécessitent un stockage de batterie pour stocker l'excédent d'électricité, fournissant ainsi un approvisionnement en électricité plus stable. Leur utilisation est plus appropriée pour les régions rurales et les régions éloignées, comme les villages éloignés et les petites îles isolées, où les réseaux d'électricité ne sont pas disponibles. Classiquement, les systèmes connectés au réseau nécessitent des convertisseurs de puissance pour convertir le courant continu CC généré en courant alternatif CA afin qu'ils puissent être compatibles avec le réseau électrique et les appareils à CA. Comme les technologies s'améliorent, les éoliennes modernes peuvent également directement générer du courant alternatif.

Les développements récents en matière de technologies d'éoliennes intégrées aux bâtiments comprennent l'amélioration de la fiabilité, l'amélioration de l'efficacité avec des vitesses de vent faibles et la diminution du coût du capital. Les lames d'éoliennes sont désormais conçues avec des matériaux légers et selon des principes aérodynamiques, de sorte qu'elles soient sensibles aux petits mouvements de l'air. En outre, l'utilisation de générateurs à aimant permanent, basés sur des aimants permanents rares, génère des systèmes légers et compacts qui permettent des vitesses de vent minimales (vitesses de démarrage). De cette manière, l'électricité peut être générée avec des vitesses de vent aussi faibles que quelques mètres par seconde.

Pour être plus attrayantes lors de l'intégration dans les bâtiments, les micro-éoliennes sont également conçues pour être plus attrayantes visuellement, sans compromettre leur rendement. Un autre objectif est de réduire/éliminer le bruit associé à la rotation de la lame et le bruit de la boîte à vitesses/générateur. Ceci peut être obtenu en utilisant des conceptions de lames à faible bruit, des isolateurs de vibrations pour réduire le bruit et des matériaux absorbant les sons (bruits) autour de la boîte à vitesses et du générateur. Enfin, la simplification des composants/systèmes des éoliennes augmente également l'attractivité de l'utilisation des éoliennes et réduit les coûts de maintenance. Les efforts dans ce domaine comprennent l'intégration des onduleurs dans la nacelle (moyeu du rotor) (EWEA, 2009).

Enfin, pour réduire les coûts du produit, des méthodes avancées de fabrication de la lame, telles que le moulage par injection, le moulage par compression et le moulage par injection-réaction, sont appliquées pour réduire le travail et augmenter la qualité de la fabrication.

En termes d'utilisations, le développement des systèmes éoliens domestiques (SED), basés sur le concept d'installations solaires domestiques (voir section 4.12), est une tendance croissante. Un système éolien domestique typique comprend une micro-éolienne, une batterie et divers appareils électriques à courant continu. La recherche montre que dans les îles côtières avec des conditions de vents fréquents (par exemple, les Îles Kutubdia et Saint Martin au Bangladesh), l'application des SED est plus rentable comparée aux installations solaires domestiques (Khadem, 2006).

Prérequis de l'application

Les micro-EAV sont souvent installées à des endroits avec des conditions de vents fréquents. Avant l'installation d'une éolienne, il est important de recueillir des données sur le vent dans le voisinage immédiat d'un chantier de construction ou d'installation. Basé sur les données relatives au vent, un type approprié d'éolienne et un emplacement adéquat peuvent être déterminés afin de maximiser la production d'électricité. Un critère important serait de faire correspondre les conditions ambiantes du vent à la vitesse de démarrage d'une éolienne, à la vitesse nominale du vent et à la vitesse d'arrêt.

Avant l'installation de(s) l'éolienne (s), surtout en grand nombre, sur un toit de bâtiment existant, il est important de s'assurer que la structure du toit soit assez solide pour supporter les charges supplémentaires.

Celles-ci comprennent le poids de(s) l'éolienne (s) et les vibrations issues du fonctionnement de l'éolienne. La technologie absorbante de vibration devrait être adoptée afin de prévenir tout dommage à la structure du bâtiment et pour réduire le bruit intérieur dans le bâtiment. Comme les éoliennes sont généralement installées sur le plus haut point d'un bâtiment, une mesure de prévention contre les dommages causés par la lumière devrait être mise en place. L'accessibilité pour faciliter l'entretien doit également être prévue.

Figure 4.13.2: Intégration des micro-éoliennes dans le bâtiment dans un milieu urbain



État d'avancement de la mise œuvre et pénétration du marché

Au cours des dernières années, les technologies éoliennes ont connu une croissance accrue sur le marché mondial. Le taux annuel moyen de la croissance mondiale de la capacité d'énergie éolienne de 2003 à 2007 était proche de 25% (soit de 40000MW à la fin de 2003 à 94000MW à la fin de 2007) (EWEA, 2009). La Chine est considérée comme le plus grand marché de petites éoliennes (REN21, 2009). D'une manière générale, la pénétration du marché pour les éoliennes dans les régions proches de l'équateur est faible, en raison de la faible variation de température tout au long de l'année; un phénomène naturel qui engendre une vitesse de vent plus faible, en comparaison avec les régions éloignées de l'équateur.

Pour les micro-éoliennes, les marchés initiaux étaient les villages sur les îles off-shore et les zones rurales isolées. Dans ces zones, le coût de l'installation des micro-éoliennes peut généralement être justifié lorsqu'il est comparé au coût élevé de l'infrastructure relatif au fait d'étendre le réseau électrique ou la construction d'une centrale électrique. Prenons la Mongolie comme un exemple où environ 250000 micro-éoliennes sont déjà installées, et où l'utilisation de systèmes éoliens domestiques est considérée comme une norme. La capacité de fabrication en Mongolie est d'environ 40 000 unités par an (EWEA, 2009). Les systèmes micro-éoliens connectés au réseau ont également trouvé un pied d'appui dans les bâtiments résidentiels et commerciaux dans les zones urbanisées. L'Association européenne de l'énergie éolienne (2009) prévoit que ce secteur de marché se développe rapidement du fait de l'évolution des prix élevés de l'énergie et de la demande croissante de la production sur place de l'énergie.

Faisabilité de la mise œuvre

La recherche et le développement sont la première étape pour la mise en œuvre à grande échelle des éoliennes intégrées au bâtiment dans une région qui n'a pas de précédent en utilisation d'éolienne. Plus précisément, il est nécessaire d'avoir une cartographie locale du vent pour comprendre la vitesse du vent, la fréquence et les directions du vent à différentes hauteurs et dans des cadres différents. Ces données sont cruciales pour déterminer la faisabilité et les types d'éoliennes appropriés pour être implémentés dans une zone particulière. Si l'étude de faisabilité montre des résultats positifs permettant un retour sur investissement potentiel, des politiques de soutien et des mécanismes financiers devraient être mis en place pour rendre les éoliennes intégrées au bâtiment commercialement viables pour adoption à grande échelle par les propriétaires d'immeubles, les promoteurs, les professionnels et les métiers connexes. Les politiques de soutien devraient inclure, mais ne se pas limités à:

1. La réduction ou la suppression des subventions pour l'approvisionnement en électricité à partir de combustibles fossiles.
2. La réduction ou la suppression des droits d'importation sur les composants des éoliennes.
3. L'identification claire des plans d'expansion du réseau électrique (pour les zones rurales et éloignées), et les communiquer clairement au public. Cela est nécessaire pour les promoteurs immobiliers pour calculer la période de retour sur investissement utilisée dans les processus de prise de décision relative au fait d'investir dans des systèmes éoliens hors réseau, notamment dans des systèmes éoliens domestiques.
4. La mise en place de réseaux intelligents et de mesures d'incitation au tarif de rachat (dans les zones urbanisées) comme moyen de promouvoir l'utilisation des éoliennes liées au réseau.

En plus des politiques d'incitation précédemment évoquées, les autorités du bâtiment et de la construction locales devraient réglementer l'installation des éoliennes intégrées dans le bâtiment pour les aspects suivants:

1. Sécurité de la structure
2. Contrôle de la pollution sonore
3. Raccordement au réseau
4. Lignes directrices de la conception urbaine.

Un autre facteur important pour la mise en œuvre à grande échelle des éoliennes intégrées au bâtiment est le renforcement des capacités, en particulier dans les domaines suivants:

1. Les connaissances techniques pour calculer, simuler et déployer des types appropriés d'éoliennes à des endroits appropriés afin de maximiser leur performance et leur intégration esthétique dans les bâtiments et le paysage urbain
2. Les compétences et techniques d'installation pour la main-d'œuvre locale
3. Les procédures d'entretien pour les propriétaires d'immeubles et le personnel de gestion des installations
4. La fabrication de micro-éoliennes et de composants connexes. De cette manière, les produits sont localement disponibles et ont une faible teneur en carbone et, parallèlement, l'économie verte locale est soutenue grâce à la création de nouveaux emplois et sources de revenus.

Contributions au développement social, économique et environnemental

L'énergie éolienne est un élément clé de l'utilisation des énergies renouvelables. La mise en œuvre des éoliennes intégrées au bâtiment contribue positivement à l'amélioration de l'environnement comme une option d'atténuation des effets du changement climatique.

Les technologies éoliennes, utilisées en particulier dans les systèmes éoliens domestiques, contribuent au développement social en améliorant la qualité de vie des villageois dans les îles isolées et les zones rurales, et elles ressemblent en ce sens aux installations solaires domestiques (voir section 4.12). Ces avantages comprennent:

1. Une meilleure santé de l'environnement et la réduction des risques d'incendie en évitant l'utilisation du kérosène lors de l'éclairage
2. Le fait de rendre l'information et le divertissement accessibles grâce à l'utilisation de la radio et de la télévision.

Les éoliennes intégrées au bâtiment offrent des opportunités pour le développement économique local, y compris:

1. Moins de charges financières pour les ménages en raison des coûts d'électricité
2. Les possibilités pour les ménages/propriétaires d'immeubles de vendre le surplus d'électricité au réseau
3. De nouvelles compétences et possibilités d'emploi pour la main-d'œuvre locale
4. Le mécanisme de croissance locale de l'économie verte.

Besoins financiers

Les besoins financiers pour la mise en œuvre des éoliennes intégrées au bâtiment comprennent les coûts d'investissement et d'entretien. Le coût d'investissement couvre non seulement les produits et leur installation, mais aussi les études de faisabilité et les activités du système liées à la conception. Une des activités les plus critiques est d'analyser (pour les bâtiments existants) et de prévoir (pour les nouveaux bâtiments au cours de la phase de la conception) les conditions du vent sur et autour du bâtiment afin de déterminer la faisabilité et l'emplacement de l'installation.

Les composantes du coût des éoliennes varient considérablement, en fonction du type, de la capacité nominale et de la disponibilité locale. Le retour sur investissement dépend considérablement des conditions réelles du vent et de la performance sur place et, en partie, du niveau du tarif de rachat et des prix de l'électricité locale.

Étude de cas

Bahrain World Trade Centre, Manama, Bahreïn

Le World Trade Centre de Bahreïn est un bon exemple d'éoliennes intégrées au bâtiment dans le cadre d'une utilisation commerciale du bâtiment à grande échelle. Le gratte-ciel intègre trois EAH, chacune avec un rotor de 29m de diamètre, dans des ponts aériens reliant deux tours de 50 étages. Les éoliennes sont montées à des hauteurs de 60m, 98m et 136m.

La forme des tours a subi des tests approfondis en soufflerie et a été affinée pour fournir un rendement optimal des éoliennes. Les conduits aériens des tours accélèrent et orientent le vent de mer de sorte qu'il circule perpendiculairement à l'axe du rotor de l'éolienne. Dans la conception, des dispositions ont été établies pour que de petites grues puissent être montées sur les trois ponts de soutien pour l'entretien des éoliennes et le remplacement de leurs composants.

Le coût total des éoliennes intégrées au bâtiment est autour de 3,5% du coût total du projet. Les trois éoliennes génèrent entre 1,100MWh et 1,300MWh chaque année, correspondant à environ 11%-15% des besoins en électricité du bâtiment (Designbuilt-network.com, 2010).

4.14 Gestion de l'énergie et amélioration de la performance

La technologie

Une fois que diverses mesures de performance énergétique ont été déployées dans un bâtiment, la gestion de l'énergie et les améliorations de la performance peuvent être mises en place comme un ensemble d'outils pour:

1. S'assurer que la performance des systèmes d'énergie réponde aux objectifs de la conception, grâce au commissionnement effectif lors de la procédure de la remise du bâtiment
2. Contrôler, évaluer et gérer la performance énergétique pour optimiser le confort des occupants et les fonctions du bâtiment, tout en maintenant l'efficacité énergétique, grâce aux systèmes de gestion énergétique des bâtiments (SGEB).
3. Améliorer la performance énergétique du bâtiment à travers un contrat de performance énergétique (CPE) établi par une société de services énergétiques qualifiée (SSE).

Le commissionnement se réfère principalement au test et à la correction des déficiences des systèmes de chauffage-ventilation-climatisation (CVC) d'un bâtiment afin de répondre aux normes établies avant l'acquisition du bâtiment par le propriétaire. Aujourd'hui, le commissionnement reconnaît « le caractère intégré de tous les systèmes qui affectent la performance des bâtiments, la durabilité de l'impact, la productivité du travail, la sécurité et la protection des occupants » (US GSA, 2005). Le commissionnement est considéré comme un processus de contrôle de la qualité qui suppose le fonctionnement correct et les performances de tous les systèmes et composants techniques du bâtiment à la passation du bâtiment. Dans de nombreux pays, le commissionnement est une pratique traditionnelle et obligatoire en vertu des codes du bâtiment. Les outils pour soutenir les activités du commissionnement ont été développés et varient d'une simple fiche de contrôle à une matrice sophistiquée. La matrice organise divers aspects du commissionnement durant les phases de développement du bâtiment, de la conception à l'exploitation. Divers outils de calcul ont également été développés pour soutenir les activités de la mise en service. Un exemple serait la matrice de MQC_JP développée pour les utilisateurs Microsoft Excel. La matrice permet le stockage d'un grand nombre de données et permet une navigation facile. La matrice MQC-JP peut être personnalisée pour répondre à un projet spécifique (AIE, 2008).

Le système de gestion de l'énergie du bâtiment (SGEB) est un système de contrôle assisté par ordinateur, installé dans les bâtiments. Le SGEB intègre la surveillance et le contrôle des systèmes mécaniques et électriques dans un bâtiment dans le cadre d'une stratégie de contrôle et d'optimisation globale liée à l'énergie, au confort des occupants, etc. Les systèmes et sous-systèmes gérés par le SGEB comprennent (mais ne se limitent pas à) les refroidisseurs, le contrôle de l'optimisation de l'installation,

les contrôleurs de l'éclairage et du gradateur, le contrôle de la qualité de l'air intérieur, la plomberie et les autres systèmes électriques connexes. Le SGEB a la capacité de répondre de façon proactive aux préavis et de tracer les sources de problèmes. Le SGEB recueille, analyse et contrôle aussi les données de la performance du bâtiment telles que la température, l'humidité, les niveaux de dioxyde de carbone, l'éclairage de la pièce, etc., des différents espaces dans un bâtiment. Les composants du SGEB sont généralement disposés dans un système à quatre niveaux:

1. Capteurs, commutateurs, etc., au niveau du terrain (équipement)
2. Antennes et contrôleurs discrets au niveau de la commande
3. Station centrale avec un système de contrôle assisté par ordinateur au niveau du fonctionnement
4. Communication de la gare centrale via des passerelles au niveau de la gestion.

Le SGEB, dans sa forme la plus récente, bénéficie du développement avancé des technologies et communications intelligentes, telles que les technologies sans fil. Ces technologies permettent au SGEB d'étendre son champ d'application, telle que l'optimisation du rendement énergétique grâce à des services interopérables et au contrôle dynamique de plusieurs équipements et systèmes technologiques. D'autres approches avancées incluent la communication entre les capteurs, la sensibilisation au contexte, l'adaptation de l'utilisateur, la hiérarchisation de l'information, etc. (Commission européenne, 2009). Par exemple, les capteurs d'éclairage du dispositif de lumière naturelle d'une pièce peuvent envoyer des signaux du ciel couvert au SGEB. Le système analyse ensuite les données générées des capteurs de mouvement installés dans la pièce afin de détecter si la pièce est en cours d'utilisation, et ce pour décider si on doit basculer automatiquement à l'éclairage artificiel supplémentaire. De telles données sont également utilisées pour déterminer si la climatisation dans cette salle en particulier devrait être éteinte ou rester en marche.

Le contrat de performance énergétique (CPE) est une méthode d'acquisition basée sur la performance et c'est un mécanisme financier pour le renouvellement du bâtiment. Les économies sur la facture d'électricité résultant de l'installation de nouveaux systèmes dans les bâtiments réduisant la consommation d'énergie sont utilisées pour payer le coût du projet de renouvellement du bâtiment. Un « contrat de garantie de performance d'économies d'énergie comprend des stipulations qui engagent le contractant, une société de services énergétiques qualifiée (SSE), à payer la différence dans le cas où les économies soient inférieures à celles garanties » (EPC Watch, 2007). La SSE fournit des solutions intégrées pour atteindre meilleur rendement énergétique et donc la réduction du coût de l'énergie. Les activités de la SSE sont:

1. Réaliser des audits énergétiques
2. Fournir des services de conseil pour améliorer l'efficacité énergétique
3. Gérer les installations et assurer leur maintenance
4. Gérer les installations, gérer l'énergie, y compris la surveillance et la gestion de la demande
5. Modifier/moderniser les équipements consommateurs d'électricité
6. Fournir l'approvisionnement en énergie et en énergie thermique à partir de la section de chauffage/refroidissement, assurer la coproduction ou la tri-production.

Les paiements des services de la SSE dépendent de la performance des solutions implémentées (KPMG, 2009).

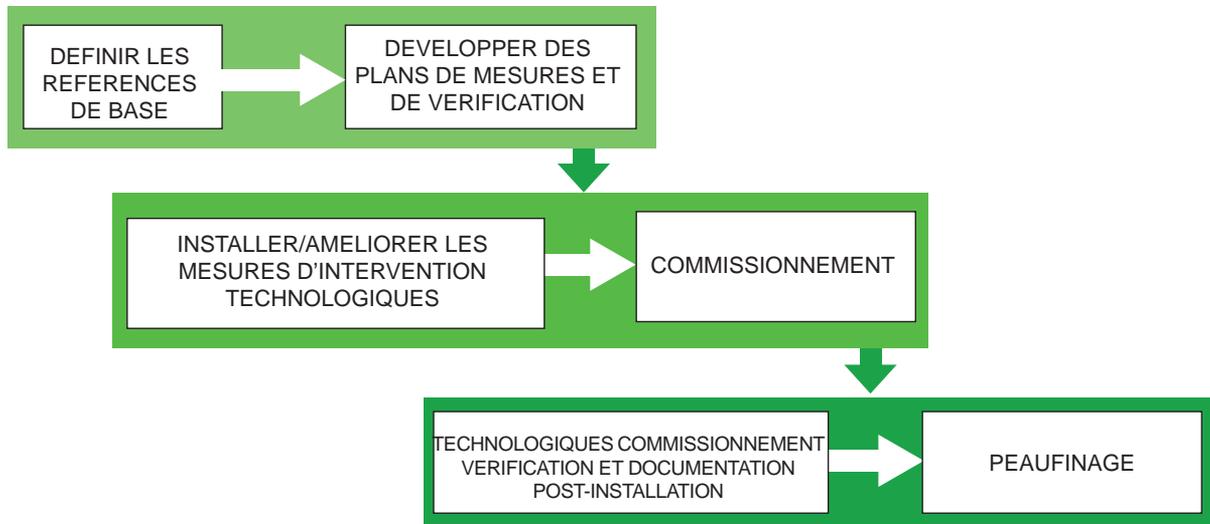
Prérequis de l'application

La gestion de l'énergie et l'amélioration de la performance peuvent être appliquées dans tous les contextes climatiques. Les pratiques sont le plus appropriées pour les bâtiments commerciaux (bureaux, détaillants, hôtels, etc.) et les grands complexes à usages variés, dans lesquels les systèmes technologiques sont complexes et nécessitent une approche de gestion systématique.

Les bonnes pratiques du commissionnement du bâtiment pendant la phase d'acquisition comprennent normalement la vérification des performances contre les intentions énoncées au stade initial de la conception du bâtiment, en s'assurant que les installations aient subi une inspection sur place, que tous les systèmes techniques aient été testés et que tous les défauts aient été corrigés. Le commissionnement des technologies/systèmes de pointe nécessite un personnel de formation sur la gestion de l'exploitation/des installations et l'éducation des utilisateurs potentiels. Un guide pour l'utilisateur du bâtiment est également fourni au cours de la procédure de commissionnement pour expliquer les procédures opérationnelles et les fonctions des systèmes techniques complexes. La remise des grands bâtiments complexes implique souvent un agent de commissionnement indépendant. L'implication de tiers peut aider à éliminer les déficiences cachées, qui ne seraient autrement pas détectables jusqu'à la période de post-occupation (Lohnert et al., 2003).

Alors que le commissionnement des bâtiments représente, dans la plupart des cas, un élément essentiel d'un bon contrat de bâtiment, le SGEB et le CPE exigent le soutien des promoteurs/propriétaires du bâtiment. Pour optimiser son potentiel et sa rentabilité, le SGEB peut être mieux incorporé lors de la phase de conception. L'information peut ensuite être incluse dans les dessins et les spécifications relatives au contrat de bâtiment. Pendant la phase d'exploitation du bâtiment, le SGEB nécessite du personnel pour opérer et contrôler. L'interface de l'utilisateur et les fonctions de régulation manuelle doivent être en place pour permettre une potentielle intervention en cas de pannes du système et/ou de situations d'urgence. Le SGEB peut également être appliqué aux bâtiments existants pour surveiller et optimiser ultérieurement la performance énergétique. Le SGEB est en fait, l'une des technologies qui peuvent être utilisées par les sociétés de services énergétiques pour surveiller et gérer la performance énergétique des bâtiments.

Les SSE commencent souvent un projet en définissant les références de base: les modèles et les taux de consommation d'énergie existante, l'inventaire et les conditions de l'équipement, l'occupation, les mesures d'économie d'énergie existantes, etc., via des enquêtes, des inspections, des mesures ponctuelles et un comptage à court terme. Après que les sociétés de services énergétiques aient réalisé les interventions technologiques nécessaires, les références de base sont utilisées pour calculer les économies potentielles de la consommation d'énergie et les conditions monétaires. Selon les conditions de base, les SSE développent des mesures spécifiques de projet et un plan de vérification (de contrôle). Le plan comprend des interventions technologiques spécifiques, leur consommation énergétique et les économies monétaires potentielles, la méthodologie de vérification, le calendrier et les coûts de maintenance, et la période de retour sur investissement. Après l'installation ou la mise à niveau des mesures d'intervention technologiques, la vérification post-installation est déployée et comprend souvent le commissionnement. Ceci est afin d'assurer que les mesures d'intervention technologique soient conçues, établies et testées. Les méthodes de vérification post-installation peuvent être des enquêtes, des inspections, des mesures ponctuelles et un comptage à court terme. Par conséquent, les SSE sont souvent nécessaires pour mener une vérification de performance périodique et soumettre les résultats sous forme de rapport, en démontrant les économies réelles réalisées. Ces activités fournissent également des retours d'information opérationnels, facilitant tout réajustement nécessaire aux mesures d'intervention établies.

Figure 4.14.1: Processus typique des Sociétés de Services Énergétiques

État d'avancement de la mise œuvre et pénétration du marché

Parmi les trois pratiques et technologies abordées dans le cadre de la gestion de l'énergie et de l'amélioration de la performance, le commissionnement du bâtiment est la plus faisable pour être mise en œuvre à grande échelle. Le commissionnement a évolué d'une mise en œuvre ad hoc des systèmes et équipements technologiques individuels (comme les systèmes de climatisation) pour inclure un commissionnement de bâtiment complet. Les avantages tangibles du commissionnement du bâtiment ont été récemment appréciés et la pratique est devenue populaire dans une grande partie du monde.

La mise en œuvre du SGEB est plus fréquente pour les bâtiments commerciaux que pour les bâtiments résidentiels. Le SGEB est une technologie éprouvée et populaire dans les pays développés. Cependant, la technologie n'est pas encore connue pour plusieurs utilisateurs dans les pays en développement qui constituent aussi des marchés potentiels énormes pour le SGEB. En se basant sur l'exemple de l'Afrique du Sud, dans le cadre de la hausse des prix de l'énergie, le SGEB, longtemps considéré comme une dépense en capital inutile, est maintenant considéré comme l'une des technologies efficaces pour réduire la consommation d'énergie dans les bâtiments complexes et de grande envergure. Il est rapporté que le marché sud-Africain du SGEB a réalisé des recettes de 19,2 millions de dollars en 2008; ce chiffre est estimé à environ 57,3 millions de dollars en 2015 (Alternative Energy Africa News, 13/05/2010).

Le contrat de la performance énergétique a été mis en place dans de nombreux pays. La pratique a commencé en Amérique du Nord, et s'est étendue depuis à d'autres pays développés et en transition, et est de, à l'heure actuelle, plus en plus présente dans les pays en développement et même sous-développés. En 2002, les revenus du marché des États-Unis pour les SSE ont atteint environ 2 milliards de dollars (Goldman et al., 2005). En Europe, l'Autriche et l'Allemagne sont les principaux marchés pour les sociétés de services énergétiques. En Autriche, entre 1998 et 2003, 600 à 700 bâtiments publics ont été rénovés en ayant recours aux contrats de performance énergétique (Bertoldi et al., 2005). En Asie, en particulier dans le contexte de l'urbanisation rapide avec un grand espace destiné à la vente au détail, aux bureaux, et aux bâtiments commerciaux, le CPE est de plus en plus populaire, en particulier les services liés à l'efficacité énergétique de la climatisation. En Europe de l'Est, le CPE est connu pour fournir le

chauffage centralisé et les installations combinant chaleur et électricité, pour remédier aux conditions climatiques froides. Grâce au soutien des organisations internationales, en Afrique, le CPE est présent également dans le domaine des solutions de l'énergie renouvelable hors réseau. En Amérique du Sud, en particulier dans les Caraïbes où le secteur du tourisme contribue de manière significative au PIB, les SSE peuvent être attrayantes pour le secteur de l'hôtellerie.

Faisabilité de la mise œuvre

La mise en œuvre de la gestion de l'énergie et l'amélioration de la performance nécessitent des soutiens institutionnels et des activités de renforcement des capacités en tant que catalyseurs. Par conséquent, comme l'expérience l'a démontré, les marchés peuvent devenir autonomes (s'autofinancent).

Le commissionnement de bâtiment est plus facile à mettre en œuvre. Il peut être inclus dans les contrats de bâtiment en tant qu'un accord commun entre les promoteurs immobiliers et les constructeurs/ entrepreneurs. Cela peut se faire tant qu'il y a un accord entre les parties concernées, dans les pays ou régions sans cadres institutionnels particuliers pour le commissionnement; par exemple, les exigences légales pour mandater le commissionnement dans les contrats de bâtiments complexes.

Le SGEB nécessite le renforcement des capacités pour former des techniciens hautement qualifiés pour qu'ils apprennent à installer et à utiliser le système. Les domaines clés de renforcement des capacités comprennent, mais ne sont pas limités à:

1. La connaissance des systèmes mécaniques et électriques particuliers, ce qu'exigent leur installation, utilisation et entretien
2. Les connaissances et compétences analytiques, afin de comprendre l'optimisation de la performance globale de l'énergie à travers un contrôle interopérable et dynamique des systèmes/équipements électriques individuels
3. Les compétences informatiques pour exploiter, remplacer manuellement (si nécessaire), et maintenir les SGEB.

Un cadre institutionnel solide, y compris un système de financement, constitue une bonne base pour les services du CPE. Par exemple, un prix d'électricité non subventionné et la disponibilité d'un tarif de rachat sont de bonnes incitations pour les SSE à développer leurs services d'énergie renouvelable à savoir; une centrale combinée de chaleur et d'électricité fonctionne à l'aide des sources d'énergie primaires renouvelables. Dans les pays les moins développés, le renforcement des capacités et l'assistance financière des organisations internationales va stimuler les services du CPE, qui à leur tour, aident à atténuer le changement climatique et, en même temps, à améliorer la qualité de vie.

Contributions au développement social, économique et environnemental

La gestion de l'énergie et l'amélioration des performances contribuent au développement environnemental, économique et social à travers:

1. La poursuite de l'efficacité énergétique de la phase de conception du bâtiment au fonctionnement réel du bâtiment, réduisant le cycle de vie des émissions de GES des bâtiments
2. Le contrôle et l'optimisation de la performance des bâtiments pour le confort des occupants et l'efficacité énergétique
3. La création de nouveaux emplois, l'offre de mécanismes supplémentaires du financement vert et le soutien d'une économie à faible production de carbone par le biais des services du CPE émergents.

Les avantages du commissionnement du bâtiment sont:

1. Assurer une bonne performance des systèmes techniques et technologiques et améliorer leur cycle de vie
2. Accroître la satisfaction des propriétaires et des occupants par l'amélioration de la santé de l'environnement et du niveau de confort
3. Réduire les coûts de formation et de familiarisation pour le personnel de gestion des installations
4. Réduire les factures d'électricité en étant économique en énergie, et améliorer la productivité des occupants du bâtiment. Le coût d'exploitation des bâtiments avec un commissionnement approprié est inférieur à celui des bâtiments non-commissionnés à raison de 8% à 20% (US GSA, 2005).

Les principales contributions du SGEB sont:

1. Fournir aux propriétaires/occupants de bâtiments une optimisation de la consommation de l'énergie, tout en conservant la qualité de l'environnement intérieur.
2. Fournir des préavis, détecter les problèmes pour l'équipement et les sous-systèmes connectés et faciliter le diagnostic des problèmes.
3. Réduire la consommation énergétique en fournissant l'énergie en temps réel aux équipements/appareils connectés qui consomment beaucoup d'énergie. Le GIEC souligne, en se basant sur les recherches récentes, que le SGEB peut réduire la consommation d'énergie pour le chauffage de l'espace (jusqu'à 20%), pour l'éclairage et la ventilation (jusqu'à 10%) et pour le fonctionnement global du bâtiment (5% à 20%) (Levine et al., 2007).

Les principales contributions du CPE sont:

1. La possibilité de cibler et d'améliorer la performance énergétique du grand parc de bâtiments existants.
2. L'occasion pour les propriétaires de bâtiments existants d'avoir des équipements et des systèmes consommateurs d'électricité améliorés et renouvelés. Le remplacement des équipements et systèmes obsolètes à forte intensité énergétique par ceux plus efficaces à coût d'investissement faible/nul pour les propriétaires d'immeubles.
3. Un mécanisme de financement vert qui peut débloquer le goulot d'étranglement financier de la mise en œuvre à grande échelle des technologies des énergies renouvelables et à haut rendement énergétique.

Besoins financiers

Les besoins financiers pour les promoteurs/propriétaires de bâtiments pour la mise en œuvre de la gestion de l'énergie et des améliorations des performances varient; il peut s'agir d'un coût ponctuel pour le commissionnement du bâtiment, de la structure du coût d'investissement - d'exploitation - de maintenance pour le SGEB, comme il peut s'agir de l'absence de coût d'investissement supplémentaire pour le CPE.

Le coût ponctuel du commissionnement du bâtiment est souvent prévu à l'avance et inclus dans les spécifications du contrat du bâtiment. Dans des projets de bâtiments plus complexes, des agents de commissionnement indépendants sont souvent impliqués. Leurs honoraires sont souvent pris en charge par les promoteurs/propriétaires.

Les SGEB peuvent être considérés comme un élément technologique incorporé dans un bâtiment. Ils apportent donc des coûts d'investissement, d'exploitation et d'entretien. Le coût d'investissement varie

en fonction de la sophistication du SGEB, du niveau de complexité, du nombre et de la taille des sous-systèmes mécaniques, électriques et autres, liés au SGEB. Le coût d'exploitation comprend souvent le coût de la consommation de l'électricité par les capteurs, les ordinateurs et d'autres équipements électroniques liés au SGEB, ainsi que les salaires du personnel de gestion des installations. Un budget devrait également être consacré pour les frais d'entretien liés à la réparation et au remplacement des pièces/composants du SGEB et à l'amélioration des logiciels et du matériel.

Le CPE exige un faible/ou même aucun partage du coût d'investissement entre les propriétaires des bâtiments. Le coût pour effectuer des audits d'énergie et pour la modification //l'amélioration des équipements et systèmes est, dans la plupart des cas, à la charge de la SSE. La SSE gagne alors un retour sur investissement grâce à l'épargne monétaire provenant des factures d'électricité après la mise en place des systèmes optimisés. Le CPE apporte des avantages aux propriétaires de bâtiments existants qui reçoivent des équipements et systèmes neufs/optimisés sans ou avec peu de frais d'investissement. Au cours de la période d'audit et d'optimisation, il se peut néanmoins qu'il y ait quelques perturbations liées au fonctionnement du bâtiment.

Étude de cas

Le Centre Lifestyle home Garden à Randpark Ridge, Johannesburg

Le Centre est un complexe de commerces et de bureaux à usage mixte. Lorsque le Centre planifiait de doubler sa surface de plancher, sa demande d'accroître l'alimentation en électricité autorisée afin que celle-ci corresponde à l'expansion de la surface de plancher, fût rejetée. Le promoteur a alors dû compter à raison de 50% sur les mesures en matière d'efficacité énergétique pour que le complexe agrandi fonctionne plus efficacement. Afin de gérer l'optimisation de toutes les diverses charges d'électricité, la technologie de système de gestion de bâtiment a été déployée. Le SGB a été programmé pour contrôler et surveiller l'ensemble des systèmes mécaniques et électriques du bâtiment, y compris le contrôle des incendies et de la sécurité. Le SGB a aidé également à préserver la demande d'énergie du bâtiment pour ne pas dépasser l'approvisionnement en électricité autorisée. Ceci est accompli en identifiant et en arrêtant les charges non essentielles qui n'affectent pas les fonctions de base des bâtiments. Le coût d'investissement de 500000 R pour le SGB a été remboursé en moins d'un an (Imagine Durban, Bureau d'énergie Ethekwini et Département de l'électricité Ethekwini, 2009).

École Gebhard-Muller, Biberach, en Allemagne

Ce bâtiment d'école professionnelle est équipé de SGEB raccordant le chauffage, la climatisation, la ventilation, l'éclairage électrique et les systèmes de protection solaire. Les données sont envoyées au SGEB à travers un vaste réseau de 2000 points de données. Le but de la conception était de parvenir à moins de 25 kWh/m² par an pour le chauffage et moins de 100 Wh/m² par an pour l'énergie primaire. Le commissionnement du bâtiment a été inclus et son champ d'application a couvert la conception, du transfert et du fonctionnement tout au long des phases de la construction. Les activités de commissionnement puisent dans plusieurs méthodes, y compris:

1. La simulation numérique pour optimiser la stratégie de contrôle pour le système de chauffage et de refroidissement intégré. Les résultats montrent qu'une économie d'énergie potentielle de 35% peut être obtenue sans effets négatifs pour le confort thermique des occupants.
2. Des tests fonctionnels de performance ont été développés pour les systèmes et composants cruciaux identifiés pour l'efficacité énergétique des bâtiments, y compris les unités de traitement d'air avec des échangeurs thermiques rotatifs et les systèmes de pompe à chaleur.

3. La visibilité des données, disponibles sur une période de surveillance et d'enregistrement de deux ans.

Les résultats comprenaient la grande satisfaction des occupants en termes de confort thermique et d'efficacité énergétique. L'implication de l'utilisateur et du personnel d'exploitation dans le processus de conception a été considérée comme un attribut très positif (AIE, 2008).

4.15 Catalyseurs du changement de comportement

La technologie

Une mesure efficace pour réduire la consommation d'énergie dans les bâtiments serait de déployer des technologies qui ont la capacité d'influencer les comportements des occupants en termes d'adoption d'un mode de vie durable et de réduction du gaspillage de l'électricité. Les caractéristiques de ce groupe de technologies sont:

1. Rendre les informations et données relatives à la consommation d'énergie visibles pour les occupants
2. Rendre les avantages en matière d'économies d'énergie tangibles pour les occupants, en particulier en termes monétaires.

À l'heure actuelle, les technologies clés, qui peuvent être considérées comme des catalyseurs du changement de comportement, comprennent:

1. Les appareils économes en énergie
2. Les réseaux domestiques, connus aussi comme les technologies de l'habitat intelligent
3. Les compteurs prépayés, implémentés dans les pays d'Afrique, ainsi que dans certaines parties de la Chine.

Bien que les appareils électriques économes en énergie et les compteurs prépayés soient des technologies éprouvées et largement utilisées, le réseau domestique est plutôt une nouvelle technologie ayant un potentiel pour de futures applications à grande échelle.

Les appareils économes en énergie se différencient des appareils conventionnels en termes de la consommation de moins d'électricité pour le même service et qualité de service. Les principaux appareils consommateurs d'énergie, tels que les climatiseurs, les réfrigérateurs, les lave-linges, les sècheuses, les chauffe-eau, etc., sont les cibles principales en termes d'amélioration de l'efficacité énergétique. Au cours des dernières années, les appareils mis en mode veille ont été remarqués pour leur consommation d'énergie. Leur consommation d'énergie cumulée représente globalement 1% des émissions de CO₂ globales et 2,2% de la consommation de l'électricité de l'Organisation de coopération et de développement économique l'OCDE (AIE, 2001). Cela a conduit à une course à travers le monde pour la recherche, le développement et la production d'appareils économes en énergie. Par exemple, entre 1990 et la fin de 2007, le programme japonais Top Runner, initiative visant à améliorer les normes d'efficacité des appareils au Japon, a contribué au développement de normes d'efficacité pour les différents appareils à raison de 15% à 83%, selon les types d'appareils (Brown, 2009).

Le réseau domestique (HAN, acronyme anglais) est un réseau au sein d'une maison qui relie les appareils électriques domestiques (CVC, l'éclairage, les réfrigérateurs, les machines à laver, les chauffe-eau, les téléviseurs, les ordinateurs, etc.) aux compteurs intelligents. Les compteurs intelligents permettent aux

propriétaires/locataires de surveiller et de gérer leur consommation d'énergie et de surveiller et contrôler à distance les thermostats et autres appareils électriques à l'aide d'appareils numériques personnels (ordinateurs, téléphones portables, etc.).

Le réseau domestique varie d'un simple système d'affichage de la consommation d'énergie à domicile à des systèmes de gestion d'énergie avancés, à l'échelle communautaire et urbaine. Les appareils simples d'affichage de la consommation d'énergie à domicile comprennent des thermostats programmables et des fonctions d'automatisation pour les appareils domestiques intelligents. Ils sont faciles à utiliser et permettent aussi aux propriétaires de comprendre les caractéristiques de leur consommation d'énergie. A un niveau avancé, les appareils d'affichage de la consommation d'énergie à domicile sont connectés à des compteurs intelligents pour une gestion d'énergie élargie à l'échelle communautaire et urbaine via des systèmes de réseaux intelligents. Certaines capacités clé d'application sont:

1. Recueillir des données sur les modes de vie des propriétaires/locataires et les activités quotidiennes
2. Analyser les données ci-dessus et synthétiser les paramètres de fonctionnement optimaux pour les appareils (par exemple, le recensement de la température, temps de marche/arrêt automatique) pour optimiser la consommation d'énergie et convenir à un mode de vie particulier
3. Effectuer une communication bidirectionnelle avec un réseau intelligent (le cas échéant) pour échanger la demande d'énergie en temps réel du consommateur final, alimenter le réseau par tout surplus d'énergie et recevoir la tarification dynamique de l'approvisionnement en électricité (à savoir, le pic vs hors-pointe). A ce niveau, le réseau domestique peut aussi aider à optimiser la demande d'électricité qui est rentable pour les propriétaires et réduit la demande pour l'infrastructure communale d'approvisionnement en énergie.

Les technologies et les capacités d'application du réseau domestique sont encore en cours de recherche et de développement pour surmonter les obstacles de la mise en œuvre généralisée. Ces obstacles incluent:

1. Le manque d'un protocole commun pour faciliter la compatibilité dans la communication entre les différentes technologies/produits du réseau domestique et entre le réseau domestique et le système de réseau intelligent
2. Le manque de garantie pour éviter le risque de fuite de données qui compromet l'intimité du propriétaire/locataire
3. La faible pénétration du marché et l'acceptabilité par les utilisateurs à l'heure actuelle.

Les compteurs prépayés ont principalement installés en Afrique, en tant qu'alternative innovante aux compteurs d'électricité traditionnels. Les compteurs d'électricité mesurent la quantité d'électricité utilisée dans un bâtiment ou unités spatiales d'un bâtiment sur une période de temps, et affiche la mesure en kilowatts par heure (kWh). L'application populaire des compteurs d'électricité classiques est de faciliter la lecture de la quantité d'électricité déjà consommée, de sorte que les entreprises de services publics puissent calculer les frais et les imposer aux clients en conséquence. Cependant, cette procédure est inversée pour les compteurs prépayés, où les consommateurs sont tenus de payer sur le champ une certaine quantité d'électricité avant de la consommer.

En d'autres termes, les compteurs prépayés sont utilisés pour réguler la quantité d'électricité qui sera fournie aux consommateurs. En application, les consommateurs achètent des jetons dans les distributeurs automatiques situés à des endroits pratiques dans le village/ville. Les jetons peuvent ensuite être insérés dans des distributeurs d'électricité installés pour chaque ménage. Des applications plus avancées

comprennent des systèmes de distributeurs en ligne qui peuvent être utilisés en combinaison avec les services bancaires électroniques. Ces systèmes aident à réduire les coûts opérationnels pour les fournisseurs de service, ce qui peut entraîner la baisse du coût de l'électricité pour les consommateurs.

Prérequis de l'application

Les appareils économiques en énergie ne présentent ni d'exigence spatiale particulière, ni d'exigence technique supplémentaire pour leur utilisation, car ni leur forme, ni leur taille ne diffère des appareils traditionnels.

Le réseau domestique (HAN) peut être facilement appliqué au niveau national, qui consiste à réseauter les appareils électriques avec le système d'affichage domestique et les appareils numériques personnels (par exemple un ordinateur accessible par Internet, le téléphone portable, etc.) pour la surveillance et le contrôle à distance. L'équipement clé comprend:

1. Des points de puissance « intelligents », qui rendent les appareils connectés identifiables et contrôlables par le réseau
2. Un dispositif de passerelle avec connexion sans fil aux points de puissance « intelligents » pour collecter des informations sur la consommation d'énergie des appareils connectés
3. Un dispositif d'affichage interactif, qui présente les données collectées à partir du dispositif de passerelle et permet aux utilisateurs de surveiller la consommation d'énergie ou même de personnaliser les profils d'énergie pour les appareils. L'information sans fil dans le dispositif d'affichage peut également être consultée et contrôlée à partir des dispositifs personnels accessibles à Internet, tels que les ordinateurs et les téléphones portables.

Là où les réseaux intelligents sont disponibles, l'utilisation complète avancée du réseau domestique pour aborder la gestion d'énergie à l'échelle communautaire et urbaine, peut être possible, grâce à une communication bidirectionnelle entre le réseau domestique et le réseau intelligent via un compteur intelligent installé dans chaque ménage.

Les compteurs prépayés exigent principalement le crédit et/ou le système de vente fixé par les fournisseurs de services. Au niveau du bâtiment et des ménages, les exigences techniques sont similaires à celles qui sont nécessaires pour l'installation d'un compteur classique. Les exigences clés comprennent:

1. Protéger les compteurs des intempéries, en particulier de la pluie,
2. Placer les compteurs loin du contact potentiel avec les sources d'eau ou de chaleur
3. Être facile d'accès pour l'entretien.

État d'avancement la mise œuvre et pénétration du marché

Les appareils économes en énergie ont déjà laissé une forte empreinte dans les pays développés et sont devenus populaires dans les pays en développement. Cela s'explique par la hausse des prix de l'énergie, le fait que la population soit sensibilisée à la consommation d'énergie et les mandats gouvernementaux. En outre, le potentiel du marché pour les appareils économes en énergie est élevé, grâce au nombre croissant de systèmes d'étiquetage de l'efficacité énergétique, aux normes minimales obligatoires en matière d'efficacité énergétique, à l'étiquetage obligatoire de l'information sur l'énergie pour les appareils dans de nombreux gouvernements locaux et nationaux. Un exemple est le système (programme) d'étiquetage obligatoire de l'information sur l'énergie, par l'Institut national des normes de

la Chine (CNIS). Le programme a été lancé en 2005 pour couvrir seulement deux produits. En 2007, le programme s'est étendu pour couvrir trois types d'appareils clés, y compris les climatiseurs, les réfrigérateurs et les machines à laver. Le CNIS a continué de mettre en œuvre les normes obligatoires de l'efficacité de l'énergie, qui couvrent la plupart des appareils résidentiels et commerciaux, l'éclairage, le chauffage et l'équipement de refroidissement (Zhou, 2008). En bref, il est prévu que l'utilisation des appareils économes en énergie deviendrait courante, en prenant en considération les forces du marché et les incitations des politiques de soutien.

Figure 4.15.1: Label vert pour les appareils économes en énergie



Les réseaux domestiques sont au stade initial de tests et de pénétration du marché. Le marché potentiel pour les réseaux domestiques est limité au secteur résidentiel haut de gamme. Cela est dû aux coûts élevés et aux exigences de haute technologie.

Les compteurs prépayés ont d'abord été mis en place au Royaume-Uni, puis ont été lancés en 1992 en Afrique du Sud pour soutenir le programme d'électrification à l'échelle nationale. Les compteurs prépayés sont très populaires en Afrique du Sud où la technologie semble profiter de la pénétration du marché la plus élevée. En outre, l'Afrique du Sud est le leader mondial de la fabrication de compteurs prépayés. Leurs utilisations sont étendues à d'autres pays d'Afrique et à d'autres régions, comme la Turquie et la Chine. En effet, la Chine fût également le plus grand marché pour les compteurs prépayés en 2006 (ABS Energy Research, 2006).

Faisabilité de la mise œuvre

Les appareils économes en énergie sont souvent analysés ou vérifiés au moyen de systèmes d'étiquetage énergétique des produits, qui peuvent être lancés par des organismes gouvernementaux ou des ONG de renom. Comme exemple nous citons Energy Star de l'Agence Américaine de protection de l'environnement et le Département Américain de l'énergie, et le programme d'étiquetage énergétique obligatoire de Singapour pour les appareils domestiques de base (par exemple les climatiseurs, les réfrigérateurs et les sèche-linge) établi par l'Agence nationale de l'environnement. A travers les systèmes d'étiquetage, les consommateurs peuvent facilement comparer l'efficacité énergétique des différents produits à capacité similaire, ainsi que

les économies en termes énergétique et monétaire provenant de l'utilisation des produits plus économiques. Afin de renforcer son utilisation, les systèmes d'étiquetage énergétique des produits sont souvent intégrés avec les outils d'évaluation des bâtiments locaux verts (si disponibles).

Le réseau domestique est encore à la phase de test sur le marché, et nécessite beaucoup plus d'efforts avant un lancement à grande échelle. Tout d'abord, les fournisseurs de technologie doivent établir un ensemble commun de normes et de protocoles pour l'intégration compatibles de divers produits, et ajuster davantage leurs produits pour être conviviaux et attrayants pour les utilisateurs finaux. Deuxièmement, les projets de démonstration et le programme de sensibilisation du grand public devraient être en place au stade initial de la pénétration du marché. Troisièmement, plus de recherche et de développement sont nécessaires pour faire baisser le coût, et pour que les technologies du réseau domestique puissent également être utilisées par les utilisateurs finaux à moyen et faible revenu. Au niveau du cadre institutionnel, une forme simple de tarification dynamique d'électricité, à savoir différents tarifs d'électricité les périodes creuses et pleines de consommation, constituerait une initiative pour la mise en œuvre à grande échelle du réseau domestique. Une fois les réseaux domestiques installés, une tarification dynamique plus sophistiquée, par exemple, tarification par heure ou en temps réel, peut être développée pour encourager les propriétaires à devenir encore plus sensibilisés en matière de consommation énergétique.

Les compteurs prépayés sont le plus adaptés pour soutenir l'électrification des communautés rurales à un stade initial. La mise en œuvre nécessite une bonne collaboration et communication entre les opérateurs de centrales, les fournisseurs de services, le gouvernement local, et les membres de la communauté. Chacun de ces intervenants a des rôles différents mais interdépendants. Par exemple, le gouvernement local met en place des politiques claires ainsi que des mesures d'incitations. Les opérateurs de centrales et les fournisseurs de services travaillent sur la faisabilité économique, fournissent l'infrastructure et font fonctionner le système. Les membres de la communauté apprennent des connaissances sur le fonctionnement du système et sont habilités quant aux procédures d'entretien de base. La forme la plus avancée de compteurs prépayés, tels que les systèmes de vente en ligne, peut être implémentée dans les communautés où la majorité des ménages est interconnectée.

Contributions au développement social, économique et environnemental

Les trois technologies: les appareils économiques en énergie, les réseaux domestiques et les compteurs prépayés, contribuent directement à économiser l'énergie domestique et donc à réduire les émissions de GES. La contribution de ces technologies au développement social est importante, car elles représentent un catalyseur pour le changement de comportement des masses vers un mode de vie plus durable. Par exemple, le réseau domestique permet aux propriétaires de maisons de voir les données (faciles à lire) en temps réel sur la consommation d'énergie des appareils et équipements. Cela représente un catalyseur qui permet aux personnes de prendre des décisions et des actions conduisant à des économies d'énergie. En outre, le réseau domestique, à travers la communication bidirectionnelle automatisée, fournit une plateforme aux fournisseurs d'électricité pour améliorer leur efficacité opérationnelle.

Les compteurs prépayés ont été initialement utilisés pour résoudre les problèmes sociaux de vol d'énergie et de trafic de compteurs d'électricité. Peu de temps après, l'application de compteurs prépayés a nécessité que les consommateurs planifient à l'avance leurs besoins en électricité. Par la suite, ils servent de rappel constant aux consommateurs d'utiliser judicieusement l'énergie.

La popularité croissante des appareils économes en énergie est aussi un catalyseur pour le développement de l'économie verte. Le réseau domestique, accompagné des réseaux intelligents à l'échelle communautaire

et urbaine, a un grand potentiel pour devenir un élément important de la mise en œuvre de la tarification dynamique de l'approvisionnement en électricité, qui devient à son tour un autre catalyseur pour renforcer davantage la pratique d'économie d'énergie. Le réseau domestique améliore la compatibilité entre l'offre et la demande d'électricité et contribue ainsi à réduire la demande de pointe, conduisant à minimiser les contraintes d'approvisionnement en électricité et le besoin de développer l'infrastructure électrique.

Besoins financiers

Les appareils économes en énergie, dans de nombreux cas, coûtent plus cher que les appareils traditionnels. Ceci s'explique par l'incorporation de nouvelles technologies d'économie d'énergie, ainsi qu'à leur stade relativement précoce de pénétration du marché. Cependant, le coût des appareils électriques économes en énergie serait inférieur à celui des appareils non- économiques en énergie, grâce à une économie d'échelle future, une éventuelle intervention de la réglementation (par exemple, la taxe carbone) et leurs progrès jusqu'à devenir la norme chez les consommateurs. Ce qui est encourageant c'est de constater que la plupart des appareils économes en énergie sur le marché peuvent avoir des retours sur investissements après un certain temps grâce aux économies d'énergie réalisées. Avec l'augmentation des prix de l'énergie, la période de retour sur investissement des appareils économes en énergie devient plus courte, fournissant ainsi des incitations supplémentaires pour leur application.

Le réseau domestique nécessite que les propriétaires fassent un investissement initial pour installer l'équipement connexe. D'autres coûts comprennent les coûts mineurs liés à l'énergie utilisée pour le dispositif d'affichage domestique et pour l'entretien. De plus, un petit budget doit être mis de côté pour l'amélioration du système et du logiciel, vu que les technologies sont encore au stade de peaufinage.

Les compteurs prépayés nécessitent un investissement financier de la part d'un fournisseur de services pour aménager l'infrastructure de distribution, installer des distributeurs automatiques et faire fonctionner le système. Un petit investissement initial est souvent requis par les consommateurs pour installer des compteurs prépayés dans leurs maisons. Par conséquent, les consommateurs devraient consacrer un budget pour payer d'avance l'électricité qui sera consommée.

Étude de cas

Projet de compteurs prépayés, Chittagong, Bangladesh

Le projet est un programme pilote visant à instaurer l'utilisation des compteurs prépayés au Bangladesh. Le programme est mené par le Conseil de développement de l'électricité de Bangladesh (Power Development Board) avec le soutien du gouvernement allemand. Les compteurs prépayés sont installés dans les chambres, appartements ou maisons des habitants participants. Les résidents peuvent prépayer en quantité désirée d'électricité et recevoir des mots de passe numériques dans dix centres de distributeurs locaux. Après avoir saisi le mot de passe dans le compteur prépayé, l'électricité est distribuée pour la consommation. Le compteur coupera automatiquement le flux d'électricité lorsque le crédit est épuisé. Toutefois, si le crédit est épuisé pendant la nuit ou le week-end ou un jour férié, le compteur continuera de distribuer l'électricité, et les résidents peuvent ensuite rembourser le montant du déficit lors du prochain jour ouvrable auprès de l'un des centres de distribution. Les résidents participants ont répondu de manière positive. Ce retour d'information comprend la satisfaction avec la possibilité de contrôler leur propre consommation et budget, et l'absence de soucis de déconnexion et reconnexion. Les compagnies d'électricité bénéficient également d'un meilleur flux de trésorerie (grâce à la réception d'un paiement à l'avance), de moins de frais généraux (économiser la main-d'œuvre à travers la lecture des compteurs ou

la facturation), elles permettent d'éviter les différends de non-paiement et permettent une meilleure gestion de la charge électrique. Il est prévu que les coûts initiaux d'investissement du projet seront récupérés sur 6 ou 7 ans (Deutsche Botschaft Dhaka, 2010).

4.16 Services d'énergie communautaires

La technologie

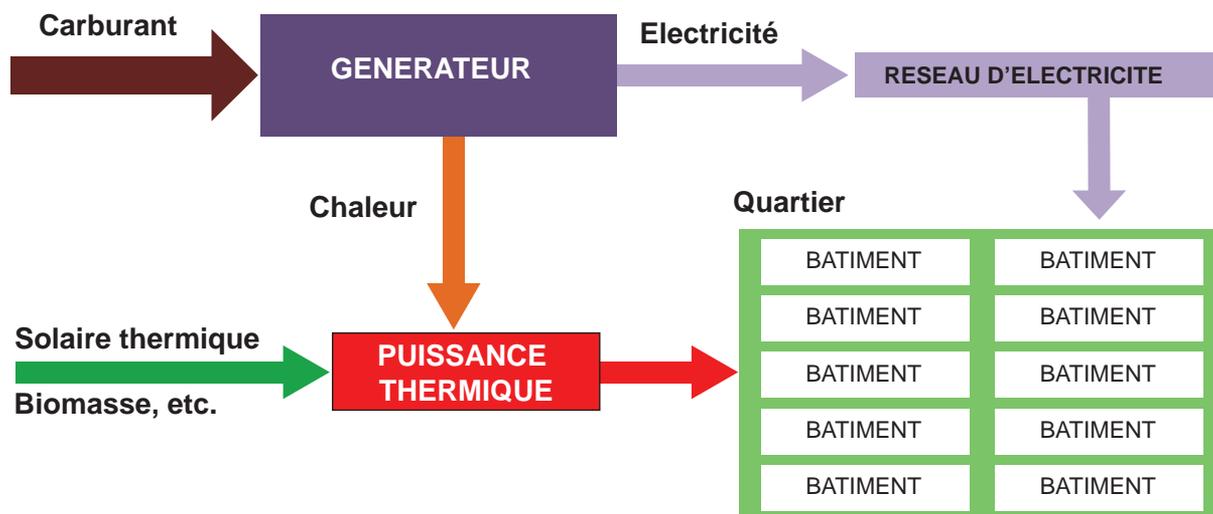
Les services énergétiques communautaires, comme le terme l'indique, fournissent le chauffage, la climatisation et l'énergie renouvelable à plus d'un bâtiment. C'est une alternative à l'utilisation des systèmes individuels liés à l'énergie dans chaque bâtiment. Les services consistent souvent en:

1. Une génération et un approvisionnement centralisés de chauffage/climatisation ainsi que de l'énergie provenant de sources renouvelables
2. Un réseau de distribution afin d'apporter le chauffage/la climatisation aux bâtiments au sein de la communauté
3. Autres installations (unités de traitement de l'air et des contrôles) dans les bâtiments individuels.

Les services énergétiques communautaires sont souvent associés à deux formes; le chauffage/climatisation centralisé(e) et la production combinée de chaleur et d'électricité (PCCE).

Le chauffage/climatisation centralisé(e) se réfère à la combinaison chauffage/climatisation de manière centralisée, et à la distribution de chauffage/climatisation dans les bâtiments d'une communauté définie, pour le chauffage de l'espace et de l'eau ou pour la climatisation de l'espace, via un réseau de tuyauteries. L'énergie nécessaire pour le chauffage/climatisation peut provenir de la chaleur résiduelle des processus industriels à proximité (si disponibles) et/ou des sources renouvelables telles que le solaire thermique et l'énergie géothermique. Le chauffage/climatisation (refroidissement) centralisé(e) peut fournir une plus grande efficacité pour le chauffage/climatisation, comparé à l'utilisation des systèmes individuels dans les bâtiments individuels. Il apporte également plus de flexibilité aux propriétaires/locataires d'un bâtiment qui peuvent alors n'acheter et de consommer seulement le chauffage/climatisation dont ils ont besoin.

Figure 4.16.1: Représentation schématique du chauffage/climatisation centralisé(e)



En raison de l'économie d'échelle des installations de chauffage/climatisation centralisé, des systèmes de chauffage/climatisation collectifs peuvent appliquer diverses formes de pratiques d'économies d'énergie d'une manière rentable. Parmi ces pratiques, on trouve l'utilisation de stockage de glace thermique. La glace est générée pendant les heures creuses et stockée pour la génération d'eau glacées pendant les heures pleines, en aidant à réduire la charge maximale de l'électricité. En déplaçant une partie de la charge de refroidissement durant les heures creuses, les besoins en équipement de refroidissement et la taille peuvent être réduits à la charge moyenne. Cela conduit à l'augmentation du rendement du fonctionnement du refroidisseur et à la baisse du coût par unité de refroidissement. Une autre pratique consiste à utiliser l'eau de la mer comme source indirecte pour les systèmes de refroidissement collectifs dans les régions côtières tropicales. La température constante de l'eau de mer froide dans ces régions peut agir comme un dissipateur de chaleur pour refroidir les systèmes centralisés de refroidissement de condensateur à base d'eau, réduisant la demande de la charge électrique.

La production combinée de chaleur et d'électricité (PCCE) fonctionne avec un concept similaire au chauffage centralisé, cependant, la chaleur provient de la chaleur résiduelle de la production d'électricité dans le même système. Généralement, la production d'électricité est en moyenne efficace seulement à raison de 35% avec 65% du potentiel d'énergie se présentant sous forme de chaleur résiduelle. La PCCE peut réduire la perte d'efficacité par la récupération de la chaleur résiduelle comme forme d'énergie thermique pour le chauffage/climatisation de l'espace, et ainsi, elle peut accroître l'efficacité de l'installation à raison de 90% ou plus (KPMG, 2009). Traditionnellement, la récupération de la chaleur résiduelle et la production d'électricité des centrales PCCE sont issues de la coproduction dans les installations qui utilisent des combustibles fossiles.

Cependant, un nombre croissant de centrales de PCCE est basé sur des sources renouvelables telles que le solaire thermique, le biogaz, la micro-hydraulique ou de sources propres, comme la biomasse. Le gaz naturel et les combustibles fossiles peuvent être utilisés uniquement comme des sources de soutien et de support. Les systèmes PCCE sont également intégrés à d'autres technologies de récupération d'énergies renouvelables, formant un système hybride. Par exemple, un système PCCE utilisant le biogaz est approprié pour les communautés basées sur l'agriculture. Le biogaz (généralement sous la forme de méthane) est récupéré à partir des déchets organiques solides et du fumier qui a subi la digestion anaérobie. Les déchets solides organiques et le fumier sont des déchets journaliers produits par la communauté et les produits dérivés de l'agriculture. Ils peuvent être utilisés comme ressources pour la PCCE afin de coproduire de la chaleur et de l'électricité. Le fumier digéré peut également être utilisé comme engrais pour la production agricole.

La disponibilité de diverses technologies de chauffage-refroidissement (climatisation), par exemple les refroidisseurs à compression et à absorption, a conduit au développement de systèmes de production combinant le refroidissement et la production électrique. Dans ces systèmes, la chaleur résiduelle issue d'un processus de PCCE est convertie en eau froide et est diffusée dans les bâtiments individuels des communautés à des fins de refroidissement d'espace. Ces développements permettent des applications plus larges et plus souples du chauffage/refroidissement centralisé, de la combinaison chauffage/refroidissement et de la production d'électricité dans diverses régions et pendant différentes saisons climatiques.

Prérequis de l'application

Les services énergétiques communautaires peuvent être regroupés en deux catégories d'applications: milieux de forte densité et de faible densité (ou très peuplé - peu peuplé). Dans les zones de forte densité,

le chauffage/refroidissement centralisé est plus réalisable car il peut servir un grand nombre de membres de la communauté dans un petit espace. Dans le milieu urbanisé à forte densité, la mise en œuvre d'un système de PCCE est moins réalisable, en raison: (1) de la production d'énergie qui est moins importante puisque l'électricité est déjà disponible à partir du réseau, (2) des contraintes d'espace pour un coproducteur en combinaison avec d'autres installations de production d'énergies renouvelables telles que le biogaz, et (3) de moins d'accessibilité aux sources d'énergie renouvelables comme le biogaz et la biomasse, qui devront être transportés au site. Les systèmes PCCE sont, cependant, plus réalisables dans les milieux à faible densité dans les franges urbaines ou les villages et villes agricoles. Dans ces zones, les sources d'énergie renouvelables sont plus facilement disponibles au sein de la communauté elle-même, par exemple, le biogaz à partir de déchets agricoles et du fumier, la biomasse provenant des produits dérivés de l'agriculture et les déchets de jardinage, etc.

Pour le chauffage/refroidissement centralisé, aussi bien que pour les systèmes de PCCE, il existe cinq principales exigences de l'utilisation. Quatre de ces exigences sont des composants principaux: installations centralisées, réseau de distribution de chauffage/climatisation, installation dans les bâtiments individuels et les compteurs. La cinquième exigence est la maintenance.

Les installations centralisées produisent du chauffage/refroidissement par le biais des chaudières/refroidisseurs, récupèrent la chaleur résiduelle à travers la coproduction ou puisent dans la chaleur résiduelle issue des processus industriels à proximité ou des centrales d'électricité. La technologie solaire thermique peut également être déployée pour la production de l'énergie thermique. Lorsque la chaleur résiduelle est disponible mais que l'énergie de refroidissement est requise, les technologies de conversion de chauffage-refroidissement deviennent indispensables. L'énergie thermique est généralement stockée et diffusé sous forme d'eau chaude/froide.

Les réseaux de distribution du chauffage/refroidissement transfèrent l'énergie thermique à partir d'une installation centralisée vers les bâtiments individuels au sein d'une communauté. Le réseau de distribution comprend des conduits et des pompes. Les conduits (tuyaux) sont souvent en acier ou en cuivre, et sont thermiquement isolés. Ils sont souvent installés souterrainement pour gagner de l'espace en surface et reçoivent une isolation thermique supplémentaire provenant de la terre. Les systèmes de détection de fuites et de protections contre la corrosion sont indispensables pour la tuyauterie souterraine. Les pompes créent une pression pour faire circuler la masse thermique dans le réseau de tuyauteries des bâtiments individuels. Ensuite, la masse thermique est renvoyée à l'installation centralisée, où elle est rechargée avec de l'énergie thermique. Les pompes à vitesse variable sont recommandées pour les économies d'énergie. Les pompes doivent avoir de faibles niveaux de bruit pour éviter le bruit provenant du transfert de la masse thermique vers les bâtiments.

Les installations dans les bâtiments. Parce que l'énergie thermique est générée dans un emplacement centralisé, les installations dans les bâtiments sont plus simples que les systèmes classiques de chauffage/refroidissement complet dans les bâtiments individuels. Les exigences de l'installation comprennent un échangeur de chaleur, des conduits (tuyaux), des soupapes et un système de contrôle. Les systèmes de contrôle sont semblables à ceux utilisés dans le système classique de chauffage individuel, à savoir le même type de thermostats dans les pièces, les soupapes thermostatiques de radiateur et les interrupteurs horaires ou les programmeurs (Energy Saving Trust, 2007). Comme pour le cas des systèmes individuels de chauffage/refroidissement, les locataires doivent comprendre comment contrôler leur chauffage/refroidissement afin d'optimiser le confort thermique et l'efficacité énergétique.

Le compteur est essentiel pour contrôler et assurer le fonctionnement et l'utilisation efficaces. Les données du compteur sont utiles pour tous les ajustements nécessaires aux composants du système, en termes de capacité, afin de permettre une meilleure efficacité opérationnelle. Les compteurs devraient également être installés dans les locaux individuels d'un utilisateur final, non seulement pour calculer les frais à imposer mais aussi pour fournir aux consommateurs une incitation directe et pour éviter le gaspillage de l'énergie achetée (Energy Saving Trust, 2007).

Les besoins de maintenance comprennent des contrôles de maintenance préventifs (y compris les fuites), le suivi et le compte rendu sur le rendement d'un système.

État d'avancement de la mise œuvre la pénétration du marché

D'une manière générale, le chauffage centralisé a une pénétration du marché plus grande par rapport au refroidissement centralisé, en raison de l'impact plus fort du froid contre celui de la chaleur. Les principaux marchés du chauffage centralisé sont en Europe (y compris l'Europe de l'Est) et en Asie du Nord. En 2007, la surface du plancher chauffant centralisé a atteint 108,8 millions de mètres carrés, incluant 41% des ménages en République tchèque, 8 millions de mètres carrés en Slovaquie, 38.160.000 mètres carrés (servant 70% des ménages) en Lettonie, et plus de 3 milliards de mètres carrés en Chine (Euroheat & Power, 2007). Néanmoins, l'utilisation de ressources énergétiques renouvelables et de la chaleur résiduelle pour le chauffage centralisé et la mise en œuvre de la PCCE, a un potentiel de développement. En Slovaquie par exemple, les sources d'énergies renouvelables ne représentent que 4% du total de la capacité du chauffage centralisé installé. Les sources d'énergie restantes sont le charbon et les produits du charbon (91%) et le gaz naturel (5%) (Euroheat& Power, 2007).

Faisabilité de la mise œuvre

Les principales activités conduisant à l'expansion de la mise en œuvre des services énergétiques communautaires comprennent la mise en place de mécanismes d'investissements et de financements appropriés, la recherche et le développement, la consultation avec les utilisateurs potentiels d'énergie et d'énergie thermique et le renforcement des capacités pour le personnel de maintenance.

Les mécanismes d'investissements et de financement déterminent la faisabilité de la mise en œuvre, en raison du coût d'investissement initial élevé d'un système de services énergétiques communautaires. Ceci est suivi par la recherche et le développement, en particulier pour identifier les sources d'énergie (par exemple, la chaleur résiduelle disponible localement provenant des procédés industriels, de la biomasse et du biogaz).

La consultation de l'utilisateur est importante pour acquérir une compréhension des attentes et une coopération communes. La consultation peut se tenir à plusieurs niveaux; au cours d'une étude de faisabilité, de la planification et de la conception d'un système et au cours de la construction et des phases opérationnelles. Le programme devrait couvrir des questions telles que l'implantation de l'installation centrale, le choix des équipements et des systèmes de contrôle pour les bâtiments individuels, le système de tarification, les procédures pour corriger les défauts et le retour d'information des utilisateurs.

Le renforcement des capacités est également nécessaire, surtout dans les pays en développement afin d'améliorer la performance du système à un coût minimal et pour former une main-d'œuvre locale de maintenance avec des compétences techniques afin qu'elles soient capables d'installer, de surveiller, d'identifier les défauts et de réparer les systèmes.

Contributions au développement social, économique et environnemental

L'utilisation de services énergétiques communautaires peut conduire à de nombreux avantages liés au développement environnemental. Les systèmes de chauffage/refroidissement centralisés peuvent être thermiquement plus efficaces que les petits systèmes isolés dans les bâtiments individuels. Le chauffage centralisé, par exemple, peut fournir jusqu'à 60% des besoins énergétiques pour l'approvisionnement de chauffage et d'eau chaude, et ce à 70% des familles des pays d'Europe de l'Est et de la Russie (OECD/IEA, 2004). En outre, le fonctionnement d'une installation centralisée est plus optimal en termes d'efficacité énergétique, de déploiement de l'énergie renouvelable et du personnel de maintenance. Le Quatrième rapport d'évaluation du GIEC (Levine et al., 2007) attire l'attention sur des exemples du système de chauffage centralisé puisant des sources de chaleur à partir de:

1. La chaleur résiduelle provenant des eaux usées (égouts) à Tokyo, au Japon et à Göteborg, en Suède
2. La chaleur géothermique à Tianjin, en Chine
3. La chaleur résiduelle provenant de l'incinération en Europe du Nord.

La PCCE, d'autre part, peut fonctionner avec le biogaz, qui provient des déchets organiques générés par la communauté. Les produits de la PCCE comprennent à la fois l'électricité et les sous-produits liés à sa production (chaleur) et permet ainsi une meilleure utilisation des ressources énergétiques. La combinaison d'un digesteur anaérobie de biogaz et un coproducteur PCCE offre également de meilleures solutions d'assainissement pour les communautés rurales, la réduction des odeurs et des mouches, la prévention de la pollution de l'eau causée par la décharge de déchets et l'amélioration de la santé de l'environnement. Par ailleurs, la boue provenant d'un digesteur de biogaz peut être utilisée comme compost pour l'aménagement paysager ou la production agricole.

En termes de développement social, les services énergétiques communautaires aident à créer un sens de communauté et à renforcer la cohésion sociale dans une communauté. En termes économiques, l'utilisation des services énergétiques communautaires offre aux propriétaires de bâtiments individuels:

1. Des économies sur le coût du capital pour les installations de chaudières/refroidisseurs (climatiseurs)
2. Des économies sur l'espace du bâtiment et les coûts de maintenance pour les installations de chaudières/refroidisseurs (climatiseurs)
3. Des économies sur les dépenses en capital afin d'améliorer les installations de chaudières/refroidisseurs (climatiseurs)
4. La flexibilité, la capacité de surveiller et la contrôlabilité de l'utilisation de l'énergie thermique
5. Avec tout cela, les services énergétiques communautaires deviennent une forme de catalyseur pour le comportement de conservation de l'énergie.

Besoins financiers

Les principaux besoins financiers pour les services énergétiques communautaires comprennent le coût initial du capital/investissement, le coût d'exploitation et les coûts de maintenance. Tous les éléments du coût sont élevés, en raison de l'application à grande échelle du service du système. Le coût d'investissement réel de la PCCE et du chauffage/refroidissement centralisé, varie selon les systèmes, les régions et selon si les composants sont disponibles localement. Par exemple, le coût d'une PCCE comprenant un digesteur anaérobie (biogaz pour alimenter le fonctionnement de la PCCE) d'une capacité de 370kW est d'environ 8,5 millions de dollars pour une installation américaine en 2002 (North West Community Energy, 2002). Une PCCE à base de biomasse d'une capacité de 2-3 MW coûtait environ 1,2 millions d'euros en Finlande en 2001 (Kuntatekniikka, 2001).

Étude de cas

Klaipeda, en Lituanie

Le système de chauffage centralisé à Klaipeda, en Lituanie, possède une installation centralisée utilisant l'énergie géothermique. La capacité de l'installation est de 43 MW, assez pour fournir de l'énergie thermique à l'ensemble de la ville (Ekodoma, 2004). Dans l'installation, l'eau géothermique à 1,135 m et a une température de 380°C est pompée à la surface et voit sa température augmenter à 700°C et ce, via une pompe à chaleur à absorption. La pompe à chaleur est guidée par l'eau, chauffée à 1750°C par une chaudière située dans l'installation. L'eau à 700°C est ensuite fournie à un réseau de distribution du chauffage centralisé. Lorsque la consommation d'eau chaude est faible, le surplus de l'eau chauffée est stocké dans un réservoir d'eau thermale pour pouvoir être utilisé pendant les heures pleines. L'eau usée à 110°C est filtrée avant d'être renvoyée à la même couche de terre à 1,135 m sous terre.

Jindrichuv Hradec, République tchèque

Deux systèmes de chauffage centralisés indépendants, servant 15 000 habitants à Jindrichuv Hradec, ont été modernisés. Le chauffage original centralisé à vapeur à base d'huile a été remplacé par un système d'eau chaude basé sur le gaz naturel et la biomasse (déchets de bois) avec une petite unité de coproduction. Le résultat a engendré une réduction des émissions de CO₂ de plus de 20% et une réduction de 68% en dioxyde de soufre, en oxydes d'azote et en émissions de cendres volantes. Par conséquent, la qualité de l'air dans la ville et la région voisine s'est améliorée d'une manière significative (Zenman, 2003).

4.17 Conception et pratiques d'une communauté durable

La pratique

Comme le concept et les pratiques d'un environnement bâti durable ont évolué au fil des ans, il est de plus en plus reconnu que la portée de telles pratiques devrait être étendue au-delà des bâtiments individuels, à l'échelle de la communauté. La conception et les pratiques de la communauté durable se réfèrent à la planification, la conception, la construction, la gestion et la promotion du développement social et économique des communautés pour satisfaire aux objectifs du développement durable.

La conception d'une communauté durable fait souvent référence à ceux qui se rapportent à la planification physique pour une nouvelle communauté. Les principaux acteurs sont les planificateurs directeurs (master planners), les architectes, les ingénieurs et d'autres professionnels de l'environnement qui planifient et conçoivent l'infrastructure, les installations et les bâtiments publics. L'environnement physique construit servira alors de base et de facilitateur pour la communauté nouvellement établie afin de pratiquer des modes de vie et des initiatives de développement durable. Les pratiques de la communauté durable impliquent les initiatives, l'organisation et la gestion des deux communautés existante et nouvelle, s'adaptant aux objectifs du développement durable.

La conception d'une communauté durable et ses pratiques ont été développées à partir de simples idées conceptuelles qui ont permis de développer des modèles et des cadres. Ces modèles et cadres sont ensuite développés selon les expériences faites dans le monde entier.

Le nombre grandissant d'expériences variées dans le monde montre que toute communauté, indépendamment de son niveau de revenus, peut œuvrer vers une vision de développement durable. A un niveau très basique, la conception et les pratiques de la communauté durable peuvent se concentrer sur:

1. Fournir, rectifier et/ou améliorer l'environnement physique bâti, les services liés au sanitaire et à l'infrastructure, et maximiser les ressources renouvelables disponibles au niveau local, par exemple le soleil, le vent, la pluie et la végétation.
2. Offrir d'autres moyens pour générer des revenus provenant de l'économie respectueuse de l'environnement, tels que l'écotourisme, la production alimentaire locale, le recyclage des déchets, etc.
3. Améliorer les conditions sociales et les liens communautaires par le biais de projets conjoints communautaires et les programmes d'éducation.

Ce modèle, appelé le modèle de communauté durable à faible revenu, est le plus approprié pour les communautés ayant les plus faibles revenus mais qui visent le développement durable.

Pour les communautés à revenu moyen et élevé, la conception et les pratiques de la communauté durable s'articulent autour des points suivants:

1. Une bonne qualité de vie, avec par exemple des installations sportives, des services de transport durable, un approvisionnement local en aliments biologiques, et l'accessibilité à pieds des commodités tels que les magasins, les écoles, les parcs, etc.
2. La cohérence communautaire et un environnement avec un taux de criminalité peu élevé.
3. La fierté et l'identité communautaire, réalisables en faisant des projets communautaires tels que les technologies d'énergies renouvelables, considérées comme point de repère pour une communauté neutre en carbone.

Figure 4.17.1: Moyens de transport durables à Nankang, Taiwan



Beaucoup de cas de réussite de communautés durables, à revenus faibles et élevés, ont été constatés et publiés.

Prérequis de l'application

La conception de la communauté durable utilise pleinement les conditions naturelles et climatiques. Celles-ci comprennent le fait d'être réactif au soleil, au vent, à la pluie et à la végétation lors de la planification d'un milieu économe en énergie et confortable pour une communauté.

Les mesures relatives à l'ensoleillement local, qui ont été adoptées au niveau de la planification communautaire, prennent en compte:

1. La provision pour les configurations de bâtiments orientés nord/sud, et les contraintes pour les bâtiments à façades orientées vers l'ouest.
2. L'accessibilité des bâtiments individuels à la lumière du soleil, surtout pendant les mois d'hiver. Ceci est réalisable grâce à un espacement minimum entre les bâtiments pour éviter trop d'ombrage sur les fenêtres.

Par exemple, dans les provinces septentrionales (nordiques) de la Chine, les bâtiments résidentiels ne doivent pas être orientés à plus que 200-250°, au lieu d'être directement exposés au sud. En outre, l'espacement minimum entre bâtiments est requis, de sorte que toutes les unités résidentielles puissent avoir au moins 3 heures d'accès à la lumière du soleil par jour.

Planifier des sites en réponse aux caractéristiques du vent saisonnier local contribuerait à la création de bonnes conditions microclimatiques pour une communauté, y compris le confort thermique dans les espaces communs et dans les bâtiments individuels. Les stratégies de planification comprennent:

1. Planifier pour avoir des structures et/ou des arbres plantés densément de grande taille sur la frontière faisant face à la direction du vent d'hiver dominant, de sorte que les espaces communs publics et/ou d'autres bâtiments dans la communauté puissent être protégés du vent froid.
2. Utiliser des formes et des configurations de bâtiments pour canaliser et permettre aux brises estivales de passer à travers des espaces communaux ouverts et à travers d'autres bâtiments dans les communautés.

La pluie offre une ressource en eau pour la communauté, ce qui est particulièrement important pour les régions où l'eau douce est une ressource rare. Si elle est bien planifiée, l'eau de pluie récupérée fournit une source alternative d'eau douce pour une communauté. Toutefois, si elle n'est pas bien gérée, l'eau de pluie peut devenir polluée ce qui la rendrait une source de danger pour la santé environnementale, comme par exemple des zones où les moustiques prolifèrent. Les bonnes conceptions et pratiques de la communauté comprennent:

1. La récupération des eaux de pluie provenant des toits des bâtiments pour une utilisation au niveau du bâtiment (voir section 4.9).
2. La capture et la canalisation de l'eau de ruissellement pour fournir des mécanismes de nettoyage naturel, y compris un réseau menant à un bassin de rétention. Ici, l'eau purifiée peut être utilisée pour un usage d'eau non potable, tel que l'agriculture locale et l'irrigation.

Les bonnes pratiques en écologie de l'environnement sont également des facteurs importants dans la conception de la communauté. Elles comprennent:

1. La protection de la nature et de l'écosystème existants d'un site. Dans le processus de planification, il est important d'identifier et de préserver le réseau écologique existant, qui a une végétation dense et une biodiversité riche.
2. La planification de « couloirs verts » reliant diverses parcelles vertes pour créer un réseau vert continu à l'intérieur et au-delà de la communauté, et ce afin de nourrir la biodiversité.

Figure 4.17.2: Mécanismes de nettoyage naturel pour la gestion de l'eau pluviale



3. La promotion et l'entretien de la végétation indigène, ce qui nécessite généralement un entretien minime et économise les ressources en eau (comme le fait de n'avoir pas besoin d'irrigation supplémentaire).
4. L'approvisionnement des espaces verts ouverts, tels que les parcs et les jardins communaux qui sont facilement évaluables et à proximité de tous les membres de la communauté.

Figure 4.17.3: Le jardin communautaire offre des possibilités de création de liens au sein de la communauté, et fait partie de l'espace vert ouvert pour l'apaisement visuel, là où se trouvent de nombreux logements élevés à haute densité



Les pratiques communautaires durables en particulier pour les communautés existantes, comprennent souvent: le redressement et l'amélioration de la performance environnementale de l'environnement physique bâti, le développement du sens de la communauté, l'amélioration de la qualité de vie de la communauté et le renforcement des compétences ayant l'objectifs d'avoir une économie verte. Les étapes nécessaires, s'orientant vers les pratiques de communauté durable, adoptent souvent une approche ascendante et comprennent:

1. Les discussions avec les membres de la communauté pour comprendre leurs modes de vie existants, les cadres de l'activité quotidienne et leurs attentes visant à améliorer l'expérience de vie dans la communauté.
2. L'encouragement des membres de la communauté à participer à toutes les activités, y compris l'identification des domaines d'amélioration, la planification et la conception de l'environnement physique bâti et le fonctionnement et la surveillance des activités durables connexes.
3. La responsabilisation des membres de la communauté dans tous les processus de prise de décision et leur inculquer un sentiment d'appartenance et de fierté lors des activités collectives.

État d'avancement de la mise œuvre

La conception et les pratiques de la communauté durable ont été largement mises en œuvre dans le monde entier. Les cas des pays développés sont corroborés par les lancements de versions communautaires des outils d'évaluation des bâtiments verts existants, tels que LEED pour l'aménagement des quartiers, les communautés BREEAM, les communautés Green Star, etc.

Dans les pays en développement, la conception et les pratiques de la communauté durable sont également largement utilisées; en témoignent la liste étendue des noms des communautés durables et les rapports de cas réussis dans la presse, en particulier en Afrique. Les modèles de communautés durables à faible revenu se sont révélés être utiles pour améliorer les moyens de subsistance dans de nombreuses zones rurales de pays en développement et de pays moins développés, et pour reconstruire des communautés touchées par des catastrophes post-naturelles (par exemple, le tsunami de 2004 qui a affecté les communautés dans le sud-est et le sud de l'Asie).

Faisabilité de la mise œuvre

La faisabilité pour la mise en œuvre de la conception et des pratiques de la communauté durable, nécessite une grande préparation et des efforts de coordination, en particulier au stade initial. Les étapes vers la mise en œuvre, en particulier pour les modèles de communautés durables à faible revenu, sont:

1. Faire participer le plus grand nombre possible de parties prenantes pour évaluer le statut des communautés existantes en termes de l'environnement physique bâti, et des conditions sociales et économiques. Les intervenants sont les résidents des communautés, les autorités locales, les organismes et les réseaux d'entreprises ainsi que les organismes non gouvernementaux connexes.
2. Désigner des/un individu(s) en tant que champion(s) pour les programmes de communautés durables. Cette (ces) personne(s) devrait(aient) être approuvée(s) et soutenue(s) par les membres de la communauté et les autorités du gouvernement local.
3. Identifier, en collaboration avec les parties prenantes, les besoins et les objectifs clés. Toutes les décisions doivent être prises par consensus.
4. Créer une vision et une feuille de route valable pour réaliser la vision, basée sur les besoins et les objectifs clés et sur les contraintes contextuelles (Smart Community Network/Réseau de communautaire intelligent, 2003).

5. Développer un ensemble d'indicateurs pour évaluer et suivre les progrès.
6. Identifier et communiquer avec les partenaires de soutien, y compris (a) le soutien financier et l'expertise des organismes internationaux, des gouvernements régionaux et nationaux, et (b) les clients potentiels ou récepteurs de services provenant des activités d'une communauté.
7. Commencer par les activités les plus réalisables et les plus économiques, qui sont en mesure de générer un flux de revenu, qui peut appuyer les activités ultérieures et les plus difficiles.
8. Suivre et améliorer le développement des activités en demandant un retour d'information régulier de la part de toutes les parties prenantes et tous les partenaires.

Contributions au développement social, économique et environnemental

La conception et les pratiques de la communauté durable contribuent au développement environnemental comme suit:

1. Concevoir en prenant en considération les conditions climatiques locales, y compris la trajectoire du soleil et les conditions du vent, afin de créer un microclimat confortable pour les espaces collectifs et les bâtiments individuels au sein d'une communauté.
2. Récupérer l'eau de pluie afin de constituer une ressource supplémentaire d'eau douce pour des usages d'eau non potable, par exemple, l'aménagement paysager et l'irrigation agricole. Cela permet d'éviter ou de réduire l'extraction et l'appauvrissement des eaux souterraines.
3. Promouvoir la végétation indigène, préserver le réseau écologique existant et entretenir la biodiversité.

La conception et les pratiques de la communauté durable contribuent au développement économique d'une communauté comme suit:

1. Réduire et éliminer la pauvreté pour les communautés à faible revenu, tout en améliorant leurs compétences pour qu'ils puissent travailler dans les secteurs de l'économie verte.
2. Faciliter une économie verte locale durable, par exemple, grâce à l'éco-tourisme et aux productions alimentaires locales.

Enfin, la conception et les pratiques de la communauté durable, en particulier le modèle de communauté à faible revenu, contribuent au développement social comme suit:

1. Fournir aux membres de la communauté des possibilités d'acquérir de nouvelles compétences et de choisir de nouvelles connaissances
2. Créer des liens au sein de la communauté et générer un sentiment d'appartenance
3. Réduire la criminalité
4. Générer des sources de revenus supplémentaires
5. Améliorer la qualité de vie.

Besoins financiers

La mise en œuvre des conceptions et des pratiques de la communauté durable pour les communautés à faible revenu nécessite souvent un soutien financier de la part des organismes internationaux, comme par exemple l'Habitat pour l'humanité, la Banque mondiale, Organisation des Nations Unies, les ONG,

avec le soutien des gouvernements locaux. Le soutien financier est requis à l'étape initiale pour un coup d'envoi, généralement lié à la conception et la mise en œuvre des activités liées à l'environnement bâti et au développement des infrastructures. La conception de la communauté durable à faible revenu qui repose sur les principes de maximisation des ressources renouvelables disponibles, comme indiqué dans la section « Prérequis de l'application », n'encourt souvent aucun coût supplémentaire important d'investissement. En outre, souvent les activités des communautés réussies trouvent elles-mêmes une source de revenus durables générée par le retour sur investissement, ce qui peut aider à maintenir leurs activités actuelles, et même permettre aux communautés d'autofinancer leurs activités ultérieures.

Étude de cas

Projet vert de rénovation urbaine, Samora Machel, Philippines, Afrique du Sud

Ce projet a été lancé et géré par l'ONG Green Communities afin de promouvoir un mode de vie écologique durable dans un environnement existant à faible revenu, à Samora Machel. Les objectifs comprenaient l'embellissement de l'environnement physique bâti, l'approvisionnement de la production alimentaire locale, l'amélioration des possibilités de revenus pour les résidents et l'amélioration de la santé de l'environnement grâce à l'intervention de la pratique durable.

Au début, Green Communities (Communautés Vertes) travaillait en étroite collaboration avec les résidents de la communauté afin de définir les besoins et la nature des initiatives que la communauté aimerait poursuivre. Les résultats ont identifié deux préoccupations principales: la sécurité alimentaire et les sources de revenus. Ces constatations ont conduit à la création d'activités initiales liées à l'agriculture urbaine rattachée à la production de légumes biologiques (Green Communities /Communautés Vertes, 2010).

Afin de rendre le programme réussi, Green Communities a lié la communauté aux restaurants haut de gamme de Cape Town qui acceptent d'acheter tous les légumes organiques produits à Samora Machel. La communauté prévoit un revenu annuel de 200000R à 300000 R, dont une partie sera utilisée pour financer les programmes de la communauté et le reste sera réparti à parts égales entre les 35 membres du projet (Palitza, 2010).

Avec la perspective d'un flux de revenus provenant du projet d'agriculture urbaine, Green Communities a prévu de lancer au sein de la communauté un magasin de troc basé sur le recyclage et la gestion des déchets. L'installation faciliterait la pratique du recyclage des déchets recyclables du résident, tels que le verre, le papier et le plastique, qui pourraient être échangés contre des articles domestiques classiques et des vêtements. L'organisation a également obtenu une promesse de Waste Plan, la plus grande entreprise de gestion des déchets sur place dans la province de Western Cape en Afrique du Sud, d'employer 60 résidents de Samora Machel qui devraient suivre deux cours de gestion des déchets de six semaines. Ce programme avait pour objectif de répondre à la deuxième préoccupation majeure et au besoin de la communauté.

En parallèle à ces activités, Green Communities a également travaillé en étroite collaboration avec les gouvernements locaux pour lancer un programme urbain à grande échelle à Samora Machel qui vise à rendre l'environnement plus vert. Les activités comprendront la plantation d'arbres et de plantes indigènes dans toutes les écoles et les crèches, la création de nouveaux parcs, des jardins, et l'implication des résidents dans les activités de compostage organique et de lombriculture pour produire de l'engrais pour les programmes urbain qui vise à rendre la ville plus « verte » (Palitza, 2010).

5. Mise en œuvre des technologies et des pratiques d'atténuation des effets du changement climatique

5.1 Hiérarchisation des technologies et des pratiques d'atténuation à l'échelle nationale

Les conditions nationales comme facteurs déterminants

Les technologies et les pratiques détaillées présentées dans le chapitre 3 et 4 comme typologies d'atténuation dans le secteur du bâtiment doivent être hiérarchisées afin de correspondre aux circonstances de chaque pays. Chaque pays a son propre ensemble spécifique de conditions, ce qui présente des avantages et des opportunités pour mettre en œuvre certaines technologies et pratiques d'atténuation, et pose des contraintes pour d'autres. Les principales conditions sont:

1. Paramètres géographiques. Ceux-ci comprennent les conditions climatiques de différentes zones (par exemple sur la côte, à l'intérieur du pays, en montagne ou dans la vallée) et déterminent la pertinence des technologies et des pratiques d'atténuation. Par exemple, dans une région tropicale chaude et humide située dans une vallée, les technologies destinées à refroidir et à ventiler l'environnement bâti sont dominantes, les technologies de chauffage ne sont pas applicables, et les technologies éoliennes peuvent ne pas convenir en raison de conditions calmes. D'autres considérations incluent la disponibilité des ressources et des matériaux locaux qui peuvent soutenir l'objectif à long terme visant à construire et à développer la capacité de fabrication locale de certaines technologies d'atténuation.
2. État d'avancement du développement économique. Ceci est utile pour déterminer les technologies et les pratiques qui ont un sens en termes économiques. Par exemple, dans les pays les moins développés, l'accent devrait être mis sur les technologies d'atténuation à faible ou sans coût, telles que la rénovation et l'utilisation novatrice de matériaux de construction et de techniques traditionnels. La mise en œuvre de ces technologies peut débiter immédiatement et à court terme, avant de passer à des technologies plus sophistiquées qui nécessitent un capital plus important et des investissements relatifs à main-d'œuvre qualifiée.
3. État et tendances de l'urbanisation. Il est pertinent d'identifier l'état de l'urbanisation nationale dominant, à savoir, les milieux ruraux, les zones rurales soumises à l'urbanisation, les zones urbanisées et la trajectoire de l'urbanisation. Si le pays dispose de nombreuses zones qui peuvent être urbanisées rapidement, les technologies et pratiques d'atténuation pertinentes pour les nouveaux bâtiments auront une priorité plus élevée. Si le pays dispose de grandes zones rurales avec une faible projection d'urbanisation, les technologies renouvelables hors réseau peuvent classer comme étant prioritaires.
4. État de l'environnement bâti. La quantité et la qualité des bâtiments existants ont besoin d'être identifiées. Elles peuvent être classées en termes de pourcentage estimé des bâtiments existants qui vont subir une rénovation importante, en termes de pourcentage estimé des bâtiments existants

qui seront remplacés à court terme, et en termes de quantité projetée des nouveaux bâtiments qui seront développés à court, moyen, et long terme. Cela aidera à hiérarchiser les technologies et les pratiques appropriées pour les nouveaux bâtiments ou pour la rénovation de bâtiments existants.

5. Force des industries existantes. Prendre en considération les industries déjà établies présente des opportunités immédiates pour la création de technologies et de pratiques d'atténuation ayant un taux de réussite élevé. Par exemple, les pays dotés d'une forte industrie de production de ciment et de l'industrie du transport maritime, ont la possibilité de développer et de mettre en œuvre le béton vert. La disponibilité abondante des sous-produits provenant de l'industrie du transport maritime (par exemple, les cendres volantes, le laitier granulé de haut fourneau) qui peuvent être utilisés par l'industrie de production de ciment afin de remplacer l'utilisation de ciment Portland à fortes émissions de carbone.
6. Disponibilité de la main-d'œuvre et des experts locaux. Les compétences disponibles dans le pays peuvent être exploitées et/ou améliorées facilement afin de mettre en œuvre les technologies et les pratiques d'atténuation ciblées. De cette façon, les technologies pertinentes peuvent être prioritaires pour la mise en œuvre sans devoir beaucoup renforcer les capacités ou la formation. Pour le développement à long terme, des stratégies nationales de développement de la main-d'œuvre devraient également être considérées.
7. Normes sociales et comportements. Celles-ci devraient être prises en compte lors de la hiérarchisation des technologies et pratiques d'atténuation. Cela contribue à obtenir le soutien des parties prenantes, à réaliser un meilleur taux de souscription, et permet d'éviter les résultats négatifs tout en évitant d'introduire des technologies et des pratiques non pertinentes. Par exemple, dans les pays où la ventilation naturelle des bâtiments est la norme (du fait de conditions climatiques favorables), donner la priorité à des technologies d'étanchéité de l'air ne serait pas rationnel puisque que ces technologies ne sont pas aussi pertinentes pour les bâtiments à ventilation naturelle qu'elles le sont pour les bâtiments climatisés.
8. Technologies et pratiques indigènes ayant un potentiel d'atténuation. Si elles existent dans le pays, celles-ci devraient être identifiées. Par exemple l'application traditionnelle des tours éoliennes dans les pays du Moyen-Orient. Cette technologie indigène sert de tremplin pour une application innovante de technologies de haute pointe à conception solaire passive, tel qu'examinée à la section 4.1. Par conséquent, si le pays a des technologies et des pratiques indigènes qui ont un potentiel d'atténuation, leur mise en œuvre devrait être prioritaire.

Cadre de prise de décision pour la hiérarchisation

Afin de rendre le processus de hiérarchisation des technologies et des pratiques d'atténuation pertinentes pour leur pays, plus facile pour l'équipe EBT nationale, il est nécessaire d'établir un cadre de prise de décision pour les analyses comparatives de toutes les typologies et pratiques d'atténuation possibles. Le cadre est une matrice, établie et basée sur l'approche de l'analyse multicritères, telle que recommandée par le Guide du PNUD pour l'évaluation des besoins technologiques dans le domaine du changement climatique (PNUD, 2010).

Cette matrice décrit les diverses technologies et pratiques d'atténuation et leurs facteurs déterminants. Ces facteurs sont basés sur les conditions nationales telles que détaillées dans la section ci-dessus, et sur la disponibilité et l'aspect pratique des technologies/pratiques selon une échelle temporelle, à savoir, à court, moyen et long termes. Le PNUD (2010) précise:

1. *Les technologies à court terme ont été appliquées commercialement avec une fiabilité éprouvée dans un contexte de marché similaire*

2. Le moyen terme serait pré-commercial dans le contexte d'un marché donné (cinq années de commercialisation complète) et une technologie à long terme serait encore au stade de recherche et de développement ou de prototype.

En outre, le potentiel de transfert sud-sud offre un potentiel de succès à long terme et une mise à l'échelle des technologies et des pratiques au-delà des frontières nationales. Ces considérations à long terme contribuent non seulement aux efforts du secteur du bâtiment à l'échelle mondiale dans le domaine de l'atténuation du changement climatique, mais aussi au développement économique intérieur. Le tableau 5.1.1 présente le cadre de prise de décision (dans sa forme générique), outil servant à déterminer les priorités.

Tableau 5.1.1: Cadre de prise de décision pour la hiérarchisation des technologies et pratiques d'atténuation au niveau national

Types d'atténuation	Technologies et pratiques	Cadre géographique	État d'avancement du développement économique	État et tendance de l'urbanisation	État de l'environnement bâti	Force des industries existantes	Disponibilité de la main-d'œuvre et des experts	Normes sociales et comportementales	Technologies et pratiques indigènes potentielles	Disponibilité à court terme	Développement à moyen terme	Potential de transfert sud-sud à long terme
Conception solaire passive	Sélection du site											
	Conception adaptée aux conditions du site											
	Conception adaptée au soleil											
	Conception adaptée au vent											
	Utilisation de matériaux à masse thermique											
Conception solaire passive avancée	Rénovation et utilisation innovante des matériaux & techniques de bâtiments traditionnels											
	Conception de Maison Passive et Technologies											
Technologies qui ont amélioré la performance de la conception solaire passive	Cycle de vie et processus de conception intégré											
	Isolation thermique de l'enveloppe du bâtiment											
	Systèmes de façades de bâtiment à haute performance											
	Technologies d'exploitation de la lumière naturelle											

Types d'atténuation	Technologies et pratiques	Cadre géographique	État d'avancement du développement économique	État et tendance de l'urbanisation	État de l'environnement bâti	Force des industries existantes	Disponibilité de la main-d'œuvre et des experts	Normes sociales et comportementales	Technologies et pratiques indigènes potentielles	Disponibilité à court terme	Développement à moyen terme	Potentiel de transfert sud-sud à long terme
Conception active	Systèmes de chauffage, ventilation et climatisation économiques en énergie											
	Système d'éclairage économique											
	Technologie d'économie d'eau											
Faible teneur en carbone et séquestration du carbone	Séquestration du carbone et matériaux & produits de bâtiments à faible teneur en carbone											
	Rendre les bâtiments plus verts et créer des systèmes de verdure intégrés au bâtiment											
Génération d'énergies renouvelables sur place	Technologies solaires											
	Éoliennes intégrées au bâtiment											
Contrôle et boucle de retour d'information des occupants	Gestion de l'énergie et amélioration des performances											
	Catalyseurs du changement de comportement											
Au-delà des bâtiments individuels	Services énergétiques communautaires											
	Conception et pratiques de la communauté durable											

Les principes clés pour l'application du cadre de prise de décision

Lors de l'application du cadre de prise de décision dans le but de hiérarchiser les technologies et les pratiques d'atténuation au niveau national, les principes clés suivants doivent être soigneusement pris en compte:

1. Réduire les émissions de GES en grande quantité dans un court laps de temps, en partant des technologies et pratiques les plus facilement utilisables jusqu'aux technologies et pratiques les plus sophistiquées

2. Être appropriée au contexte et aux circonstances spécifiques du pays
3. Être complémentaire à d'autres objectifs nationaux de développement, y compris la qualité de vie, le contrôle de la pollution, le bien-être social, un taux élevé d'emploi, un produit intérieur (PIB) plus élevé, etc.
4. Améliorer la performance sociale et économique du pays.

En plus de ce qui précède, l'équipe EBT nationale doit être consciente du niveau de familiarité des technologies/pratiques d'atténuation. Cela peut être un facteur de distorsion pendant l'exercice de hiérarchisation. Par exemple, la méconnaissance ou le manque de connaissances sur certaines technologies/pratiques pourrait conduire à une application réduite ou faible, du fait que leurs forces, leurs faiblesses, ou les facteurs favorisant ou entravant leur mise en œuvre, n'ont pas été bien comprises. Pour mieux expliquer ce phénomène, le PNUD (2010) cite Winskel et al., (2006) qui stipule que « *les organisations fonctionnent dans des réseaux sociotechniques intégrés et ont tendance à réinvestir dans des compétences déjà bien établies: les technologies perturbatrices (par exemple, les énergies renouvelables) n'ont souvent pas de sens pour les titulaires, de sorte que leur développement a tendance à être laissé à de petits organismes extérieurs* ». Cela peut conduire l'équipe EBT nationale à prendre des décisions sur la hiérarchisation des technologies/pratiques sans avoir assez d'information. La stratégie pour surmonter ce problème potentiel serait que l'équipe EBT nationale nomme un « champion de la technologie » pour chaque technologie ou pratique méconnue. Le rôle du champion de la technologie consisterait à chercher de plus amples informations pour le reste des membres de l'équipe et à organiser des activités de familiarisation, telles que des visites d'études techniques, des séminaires et le partage d'expériences par des experts mondiaux.

5.2 Stratégies de mise en œuvre de la technologie, les intervenants et le contexte

Les intervenants

Après que les typologies d'atténuation aient été hiérarchisées au niveau national, des stratégies de mise en œuvre peuvent être définies. Il est impossible de parvenir à de bonnes stratégies sans bien connaître les intervenants du secteur du bâtiment. Ces sujets et des questions relatives à ces sujets seront identifiés et examinés dans cette section.

On trouve généralement 10 catégories d'acteurs clés dans le secteur du bâtiment. Chacune a, traditionnellement, ses propres intérêts et préoccupations principaux, qui sont résumés dans le tableau ci-dessous:

Tableau 5.2.1: Les acteurs du secteur du bâtiment et leurs principales préoccupations (Wallbauma et al., 2010)

Acteurs clés	Intérêts et préoccupations principaux
Investisseurs	Retour sur investissement, faisabilité économique
Fabricants/fournisseurs	Approvisionnement en énergie, disponibilité des ressources naturelles
Banques/institutions financières	Retour sur investissement
Entrepreneurs	Matériaux et approvisionnement en énergie, disponibilité de la main-d'œuvre compétente
Planificateurs/concepteurs	Connaissance, application créative et efficace des technologies
Utilisateurs finaux/propriétaires	Bien-être, faisabilité économique, mode de vie
Autorités publiques	Règlements et contrôle
ONG et société civile	Équité sociale, accès à l'information
Recherche et éducation	Technologies et connaissances
Média	Partage démocratique de l'information

Comme le changement climatique est l'une des priorités de la communauté internationale, dans de nombreux pays, le secteur du bâtiment est en train de connaître un changement de paradigme. L'objectif est de libérer l'énorme potentiel d'atténuation du secteur du bâtiment, tout en améliorant le développement durable de l'environnement bâti. Par conséquent, le rôle des parties prenantes doit être réexaminé. Le PNUE SBCI, lors de la 4ème Assemblée Générale Annuelle de 2009, a convoqué les représentants des acteurs du secteur du bâtiment; ceux-ci ont examiné et proposé des engagements et des actions prioritaires pour réduire les émissions de GES dans le secteur du bâtiment. Ces engagements et actions prioritaires sont indiqués dans les principales préoccupations classiques des parties prenantes dans le tableau 5.2.2.

Tableau 5.2.2: Acteurs clés du secteur du bâtiment, leurs préoccupations classiques, et les engagements à lutter contre le changement climatique (en référence au PNUESBCI, 2009)

Acteurs clés	Préoccupations principales	Actions et engagements (d'atténuation)
Investisseurs	Retour sur investissement, faisabilité économique	1. Travailler avec les gouvernements pour élaborer des politiques qui font la différence et qui agissent comme des agents de changement.
Fabricants/ fournisseurs	Approvisionnement en énergie, disponibilité des ressources naturelles	2. Œuvrer pour introduire un mécanisme de commerce de carbone pour les bâtiments.
Banques/ institutions financières	Retour sur investissement	3. Rénover les bâtiments afin de maximiser la réduction de leurs émissions et d'améliorer la capacité d'adaptation climatique.
Entrepreneurs	Matériaux et approvisionnement en énergie, disponibilité de la main-d'œuvre compétente	4. Établir les frontières des technologies et du savoir-faire dans leurs propres bâtiments et bureaux loués. 5. Viser les solutions globales pour les bâtiments.
Planificateurs/ concepteurs	Connaissance, application créative et efficace des technologies	6. Consacrer la recherche et le développement pour les bâtiments à neutralité climatique, et à consommation nette zéro. 7. Éduquer la chaîne d'approvisionnement.
Utilisateurs finaux/ propriétaires	Bien-être, faisabilité économique, mode de vie	1. Créer une demande du marché pour les bâtiments économiques en énergie, qui offrent une meilleure qualité de l'environnement intérieur et qui favorise une meilleure qualité de vie.

Acteurs clés	Préoccupations principales	Actions et engagements (d'atténuation)
Autorités publiques	Règlements et contrôle	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mettre en place des réglementations nationales afin de rendre les investissements en efficacité énergétique obligatoires dans les nouveaux bâtiments aussi bien que dans la rénovation de bâtiments existants. 2. Faire des inventaires sur la consommation d'énergie, l'efficacité énergétique et les émissions provenant du parc immobilier national afin d'établir les lignes de base et les objectifs de performance pour réduire les émissions de GES. 3. Mettre en place une efficacité énergétique dans les fonds d'investissement en bâtiments qui pourrait être utilisée pour promouvoir les investissements initiaux et les rénovations liées à l'efficacité énergétique dans les bâtiments. Un tel fond pourrait être financé à travers la taxation de la consommation d'énergie au-dessus de la moyenne nationale, et /ou à travers la redirection des investissements vers la production d'énergie supplémentaire qui sera évitée par la réduction de la demande d'énergie dans les bâtiments. 4. Soutenir l'intégration de mesures dans le nouveau traité du changement climatique global qui encourage les investissements dans les nouveaux bâtiments et dans les projets de rénovation des bâtiments qui réduisent ou éliminent les émissions. 5. Inclure le cadre/ mesure du transfert de la technologie, le soutien pour le renforcement des capacités et ce afin d'introduire et d'augmenter l'efficacité énergétique à la fois dans les bâtiments déjà existants et les nouveaux bâtiments. 6. Soutenir le développement et réformer tous les mécanismes flexibles visant à encourager l'investissement et la réduction des émissions de GES provenant des opérations de construction. 7. Rénover tous les bâtiments publics pour atteindre une efficacité énergétique de haut niveau et d'importantes réductions d'émissions de GES.

Acteurs clés	Préoccupations principales	Actions et engagements (d'atténuation)
ONG et société civile	Équité sociale, accès à l'information	<ol style="list-style-type: none"> 1. Conseiller, communiquer et partager les informations. 2. Former les professionnels et les experts de métier travaillant dans le secteur du bâtiment et éduquer la prochaine génération de professionnels afin de mettre en œuvre les principes et les pratiques de bâtiments durables. 3. Faciliter le développement du leadership et consolider les efforts. 4. Aider à contrôler l'assurance qualité et les normes en matière de rendement des bâtiments à faibles émissions de GES. 5. Aider les communautés à adopter des comportements et des modes de vie respectueux du climat.
Recherche et éducation	Technologies et connaissances	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rénover et construire des écoles pour réduire les émissions de GES et favoriser des modes de vie responsables à long terme. 2. Mettre en place des programmes d'études et de recherches interdisciplinaires portant sur l'énergie, les émissions de GES et la performance sociale. 3. Collaborer afin de fournir un répertoire de données et d'analyses continues relatives à l'impact climatique sur les bâtiments. 4. Développer des programmes et des outils portant sur l'efficacité énergétique et la responsabilité environnementale des bâtiments. 5. Développer des centres d'excellence régionaux et sous régionaux, en se concentrant sur le rôle des bâtiments dans l'atténuation et l'adaptation du changement climatique.
Média	Partage démocratique de l'information	<ol style="list-style-type: none"> 1. Promouvoir largement l'urgence et la nécessité de réaliser un potentiel d'atténuation de la part des secteurs du bâtiment. 2. Diffuser les informations techniques, les leçons apprises et les expériences relatives à la mise en œuvre des technologies et pratiques d'atténuation dans le secteur du bâtiment.

Les stratégies

La mise en œuvre efficace des technologies et des pratiques d'atténuation nécessite un nouveau changement de paradigme quant aux rôles et performances des parties prenantes, comme nous l'avons indiqué dans la section précédente. Les parties prenantes (acteurs) partagent en commun l'engagement à travailler en collaboration avec d'autres intervenants, créant ainsi un réseau de partenariats. Les partenariats clés sont identifiés ci-dessous. Il est important que ceux-ci soient intégrés aux stratégies de mise en œuvre des technologies et des pratiques d'atténuation:

1. **Intégrer les approches descendantes et ascendantes:** les approches descendantes se réfèrent aux politiques gouvernementales. Elles peuvent être sous la forme de mesures d'incitation et d'exigences obligatoires. Elles ont la capacité d'influencer les actions des autres parties prenantes du secteur du bâtiment, en particulier celles du secteur privé. Les approches ascendantes comprennent les initiatives et les efforts des individus (tels que les propriétaires, les ingénieurs architectes, les promoteurs et les investisseurs), des entreprises, des associations professionnelles et ainsi de suite. Les approches descendantes définissent l'orientation à grande échelle et les approches ascendantes sont cumulatives au niveau de la mise en œuvre. Afin de créer un plan de mise en œuvre réaliste et efficace, les approches descendantes nécessitent des contributions de la part des parties prenantes qui mettront en œuvre les changements ou les stratégies. De même, les initiatives ascendantes ont besoin de contributions d'atténuation reconnues et soutenues par d'autres parties prenantes. L'innovation et le développement de technologies et pratiques d'atténuation sont également nécessaires pour un environnement propice à la prospérité (par exemple des politiques de soutien, de bonnes perspectives commerciales, etc.). L'intégration des approches descendantes et ascendantes est une stratégie efficace de lutte contre les barrières de segmentation et de fragmentation afin de réaliser le potentiel de réduction des émissions de GES dans le secteur du bâtiment. Elle peut être aussi une bonne stratégie pour faire face aux mesures financières de dissuasion, en particulier pour répondre au conflit d'intérêts économique entre les acteurs intervenant dans le secteur du bâtiment. Par exemple, avec un fort engagement de la part des gouvernements et une vision claire sur la réduction des émissions de GES dans le secteur du bâtiment (les approches descendantes), les banques et les institutions financières peuvent offrir, en toute confiance, des services de prêt vert aux promoteurs et propriétaires de bâtiments pour qu'ils puissent investir dans des technologies et pratiques pertinentes d'atténuation. Cette approche ascendante, en retour, renforce les politiques gouvernementales pour les futursancements de politiques plus ambitieuses et plus novatrices relatives à la réduction des émissions de GES dans le secteur du bâtiment.
2. **Partenariat public-privé (PPP):** Similaire aux approches d'intégration descendantes et ascendantes, le PPP combine les forces des secteurs public et privé pour franchir la barrière financière (le coût initial et les dépenses de fonctionnement) relative à la mise en œuvre à grande échelle des technologies et pratiques d'atténuation ayant un coût d'investissement élevé. Comme exemple, nous pouvons citer le déploiement immédiat à grande échelle des éoliennes intégrées au bâtiment (BIWT, acronyme anglais), ayant pour objectifs sur le long terme de créer une capacité de fabrication locale et d'exporter les produits et les services techniques sous la forme d'un transfert sud-sud. Dans un accord de PPP typique, le secteur public fournit des politiques et des mesures de soutien, tandis que le secteur privé investit ou co-investit pour développer et mettre en œuvre un projet. Le coût d'investissement initial sera récupéré par le secteur privé dans un délai convenu, et régi par des politiques convenues claires et directes. Les PPP soulagent les gouvernements du coût d'investissement initial élevé, tout en réduisant les risques d'investissement pour le secteur privé (sous la forme de politiques gouvernementales de soutien).

- 3. Partenariats avec les institutions d'enseignement/de recherche:** Cela peut être sous la forme de secteur public et /ou de secteur privé ayant un partenariat avec les institutions de recherche/éducation afin de déployer largement et de développer d'une manière innovante les technologies et pratiques d'atténuation. Dans un tel partenariat, les institutions de recherche/d'éducation bénéficient de fonds accordés par le secteur public et/ou privé. En retour, les institutions de recherche /éducation assurent l'innovation et le développement des technologies et pratiques d'atténuation appropriées au contexte local. Elles offrent également une main-d'œuvre qualifiée et des professionnels pour la mise en œuvre de technologies et de pratiques d'atténuation. Les avantages de ces partenariats peuvent être récoltés dans le moyen-long terme, mais les partenariats doivent commencer dans l'immédiat.
- 4. Partenariats avec les utilisateurs finaux et les communautés locales:** la mise en œuvre des technologies et pratiques d'atténuation ne sera pas réussie sans l'acceptation et la participation des utilisateurs finaux et des communautés. Les partenariats avec les utilisateurs finaux et les communautés peuvent être réalisés sous forme de programmes et de campagnes publics de sensibilisation. Les organisateurs de ces activités peuvent être le secteur public (à savoir les organismes gouvernementaux concernés), le secteur privé (par exemple, les entreprises promouvant les produits économes en énergie), les ONG, les établissements d'enseignement, les médias (par exemple, les programmes de télévision, les articles de magazine, les journaux mettant en évidence les avantages des technologies économes en énergie et les meilleures pratiques d'atténuation, etc.). Les activités de sensibilisation peuvent également contribuer à réduire la consommation et à contourner les barrières entravant la réduction des émissions de GES dans le secteur du bâtiment, comme expliqué à la section 2.3.
- 5. Partenariats internationaux:** Les partenariats internationaux ont toujours quelque chose à offrir, que ce soit au stade initial ou durant la phase de maturité de la mise en œuvre des technologies et pratiques d'atténuation. Pour les pays au stade de la maturité, les compétences techniques, les progrès technologiques et les expériences de mise en œuvre deviennent des ressources précieuses pour le transfert sud-sud. Pour les pays au stade initial (de lancement), il serait bénéfique de puiser dans la source riche des expériences techniques et des stratégies de mise en œuvre relatives aux approches et aux soutiens qui sont disponibles dans les pays au stade de maturité.

En utilisant ces stratégies clés de collaboration et de coordination, il est prévu que les potentiels d'atténuation des technologies et des pratiques (comme expliqué en détail au chapitre 4) soient optimisés.

Contexte

Les approches et les stratégies visant à faire participer les parties prenantes au moment propice, ne peuvent être déployées de manière optimale que si le contexte social, économique et culturel du pays, ainsi que son stade du développement, sont bien compris. Il peut y avoir différents contextes même dans un pays. Par exemple, il peut y avoir, en général, trois contextes relatifs à l'état de l'environnement bâti. Ces contextes sont: les zones rurales, semi-rurales sujettes à l'urbanisation, et les zones urbanisée. En raison des caractéristiques et des exigences spécifiques des différents contextes, chacun des trois contextes présente différents défis, opportunités et exigences. À partir d'une observation générique, on constate:

1. Dans les milieux ruraux, les options d'atténuation immédiatement applicables sont les technologies et les pratiques liées à la conception solaire passive, à la conception solaire passive développée, à la performance de la conception solaire passive améliorée technologiquement, aux puits de carbone et à la faible émission de carbone, à la production d'énergie renouvelable sur place et aux conceptions

et pratiques de la communauté durable. Les difficultés comprennent souvent l'accessibilité réduite aux connaissances et aux informations techniques, et des limites financières pour le déploiement des technologies d'énergie renouvelable sur place. Les liens communautaires sont souvent forts en milieu rural, et peuvent être exploités grâce à des campagnes de sensibilisation efficaces.

2. Dans les milieux urbanisés, les technologies et les pratiques d'atténuation appropriées sont celles qui sont pertinentes pour l'environnement bâti à haute densité telles que les systèmes de verdure intégrés au bâtiment, les technologies photovoltaïques raccordées au réseau, et les services énergétiques destinés à la communauté. Ces technologies techniquement plus avancées, sont également soutenues si de la main-d'œuvre plus qualifiée est disponible, s'il existe des instituts de recherche, etc.
3. Dans les zones semi-rurales sujettes à l'urbanisation, il est possible de mettre en œuvre un large éventail de technologies et de pratiques d'atténuation destinées aux bâtiments nouvellement construits. Parmi les nombreuses stratégies de mise en œuvre, il est essentiel de prêter attention à la main-d'œuvre provenant d'autres secteurs (souvent l'agriculture) et de prévoir des programmes de formation pour qu'elle puisse adapter ou améliorer ses compétences dans le domaine des bâtiments économes en énergie et des technologies connexes. Ainsi, la mise en œuvre des technologies et pratiques d'atténuation peut aussi contribuer à soulager la pression et les impacts causés par les changements sociaux et économiques en offrant des possibilités d'emploi.

5.3 Étapes concrètes de la mise en œuvre

En se basant sur les propos de la section précédente concernant le contexte, les intervenants (acteurs) et les grandes stratégies, cette section décrit les étapes générales pratiques pour la mise en œuvre des technologies et des pratiques d'atténuation. Ces étapes sont les suivantes:

Institutionnaliser l'équipe de travail

La nature segmentée et fragmentée du secteur du bâtiment nécessite un cadre institutionnel complexe afin d'éliminer les obstacles à la coordination entre les différents intervenants qui veulent mettre en œuvre les technologies et pratiques d'atténuation. Un groupe (ou équipe) de travail spécifique devrait être institutionnalisé en tant qu'organe clé de gouvernance, et devrait être pris en considération spécifiquement dans la mise en œuvre des technologies et des pratiques d'atténuation dans le secteur du bâtiment. Ce groupe de travail doit être intergouvernemental et englober divers organismes et ministères gouvernementaux connexes. Il devrait inclure ceux qui s'occupent du contrôle des bâtiments et de la construction, du contrôle du développement urbain, du contrôle du parc et de la verdure, du contrôle de l'environnement et de la pollution, de la gestion des ressources, du développement de l'industrie, de la finance et des impôts, etc.

Nous prenons comme exemple, la promotion de la technologie d'atténuation des systèmes de verdure intégrés aux bâtiments (section 4.11). L'organisme de contrôle du parc et de la verdure peut prendre l'initiative de fournir des lignes directrices d'application (telles que les recommandations appropriées sur les plantes et les espèces), de contrôler l'avancement de la mise en œuvre, et de contrôler les performances (telles que la tendance vers la biodiversité). L'organisme de contrôle du bâtiment et de la construction peut fournir des lignes directrices liées à la construction, peut surveiller la qualité de la construction, et mettre en place les exigences de sécurité pour l'installation de ces systèmes. L'organisme de la planification urbaine peut coordonner et promouvoir l'application, et ce à une plus grande échelle urbaine (par ex. la connectivité à la verdure, les corridors de biodiversité, l'adressage de l'atténuation des îlots de chaleur urbains à des points chauds, etc.) et peut promouvoir des incitations telles que la possibilité d'avoir des surfaces

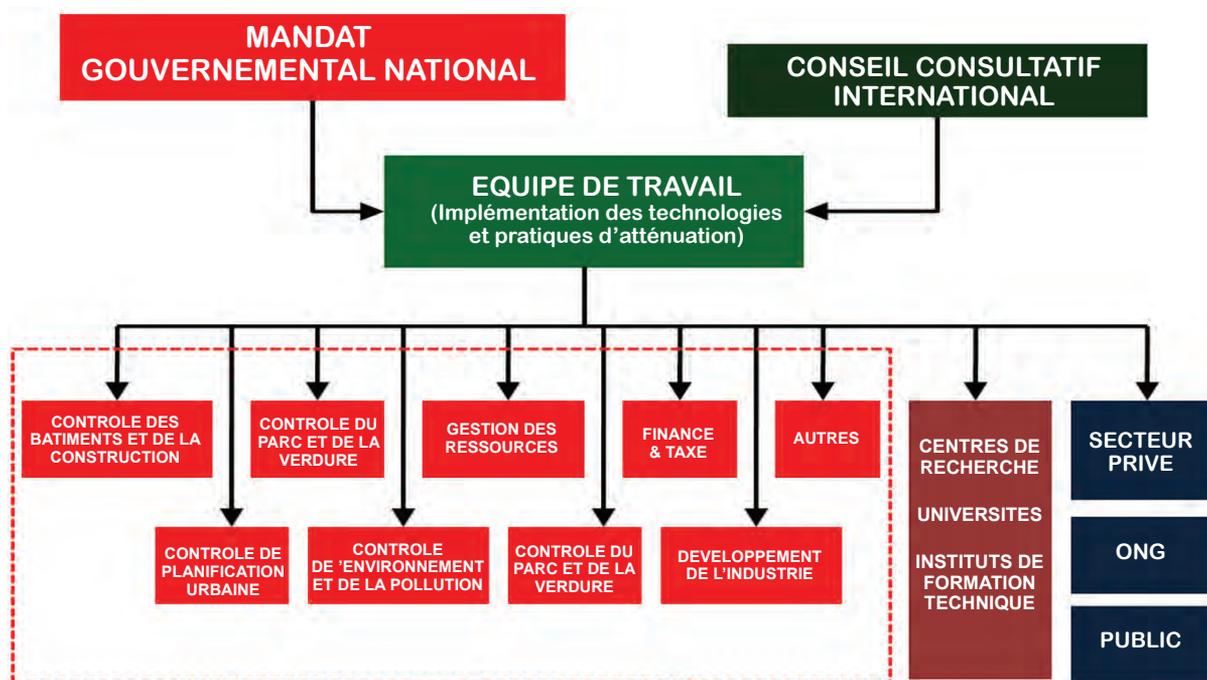
supplémentaires de plancher de bâtiment, etc. L'organisme de la finance et des impôts peut se pencher sur la facilitation des incitations financières, grâce à des subventions et des exonérations d'impôts pour le perfectionnement professionnel et les cours de formation technique par exemple. Une telle collaboration entre les organismes intergouvernementaux fournira un cadre institutionnel solide qui soutient le secteur privé et les propriétaires de bâtiments dans leur volonté à rendre leurs bâtiments plus verts.

Outre la présence des organismes intergouvernementaux, les membres du groupe de travail devraient également comprendre:

1. Des représentants des centres locaux de recherche, des universités et des instituts de formation technique qui contribuent aux stratégies visant l'application technique détaillée, la formation de la main-d'œuvre locale et le développement professionnel
2. Des représentants du secteur privé, des ONG et du public qui contribuent au processus de l'établissement de la politique, et qui fournissent des retour d'information sur l'efficacité des politiques.

Il est conseillé que le groupe de travail soit guidé par un conseil consultatif international, comprenant d'excellents experts en mise en œuvre de technologies et de pratiques d'atténuation ciblées. Les membres du conseil consultatif international contribuent non seulement à la phase initiale de la mise en œuvre grâce à la richesse de leurs expériences, mais aussi avec leurs larges réseaux et connexions et ce pour lier les pratiques locales avec les tendances globales, le développement, et les marchés potentiels de l'exportation des technologies/pratiques, au stade de maturité de la mise en œuvre.

Figure 5.3.1: Structure organisationnelle générique d'un groupe de travail sur les technologies et les pratiques d'atténuation



L'une des tâches immédiates du groupe de travail est d'identifier les lacunes entre: l'état d'avancement de la mise en œuvre locale des technologies/pratiques ciblées d'atténuation, et les références internationales, et de développer une vision pour la mise en œuvre et le développement.

Avec la contribution du conseil consultatif international, le groupe de travail peut mener une enquête globale complète sur l'état d'avancement de la mise en œuvre des technologies/pratiques d'atténuation. Une attention égale devrait être accordée aux cas réussis et non réussis. On devrait également considérer:

1. D'analyser des facteurs de réussite importants
2. De tirer des leçons des cas non réussis

En parallèle à l'enquête globale, le groupe de travail devrait également rassembler les connaissances issues du contexte local en relation avec les technologies/pratiques d'atténuation ciblées. Le groupe de travail peut également se concerter avec les parties prenantes locales à propos de la perspective d'un déploiement à grande échelle et la mise en œuvre de technologies/pratiques ciblées. Cela aidera le groupe de travail à mieux comprendre les perspectives, les besoins et les préoccupations de tous les acteurs locaux.

En confrontant les meilleures pratiques globales avec le contexte local, les lacunes dans l'état d'avancement de la mise en œuvre, les forces, faiblesses, les facteurs favorisant ou entravant des technologies et des pratiques d'atténuation ciblées, peuvent être identifiés. Comblent pleinement ces lacunes est un objectif à long terme sur la base duquel la vision à long terme de la mise en œuvre des technologies et pratiques d'atténuation ciblées peut être développée. Les considérations à long terme donneront quant à elles des informations sur la formation des objectifs à moyen terme, et finalement sur le plan à court terme et sur les mesures immédiates.

Créer un plan d'action

Un plan d'action est nécessaire durant le stade initial de la mise en œuvre. Un bon plan guidera le macro-déploiement et la mise en œuvre des technologies/pratiques de manière à ce qu'elle soit possible, mais il peut aussi être ambitieux. Le plan d'action doit prendre le contexte local en considération et définir des actions et des objectifs à court, moyen et long terme. En général, le plan d'action peut comprendre les éléments suivants:

1. Évaluer la disponibilité des ressources en termes de matériaux et de main-d'œuvre qualifiée pour le démarrage immédiat et définir des objectifs réalisables à court terme
2. Intensifier le taux d'adoption des technologies par la sensibilisation et les diverses formes d'incitations. Celles-ci sont également connues comme les stratégies d'adhésion des parties prenantes, au stade initial de la mise en œuvre, et elles donnent un sens économique aux technologies/pratiques d'atténuation à court terme.
3. Déployer des stratégies pour la mise en œuvre et le développement des technologies/pratiques pour qu'elles soient indépendantes des mesures incitatives et pour qu'elles soient autopilotées grâce la création de forces et de demandes économiques au moyen terme.
4. Alors que la mise en œuvre des technologies/pratiques d'atténuation est progressivement mise à l'échelle et normalisée: déployer des politiques et des stratégies visant à renforcer les capacités de fabrication dans le cadre du transfert sud-sud et promouvoir l'innovation à travers la recherche et le développement afin d'améliorer la performance des technologies et des pratiques.

Établir des normes pour les bâtiments économes en énergie

Mettre en place des normes pour les bâtiments économes en énergie a été souvent pratiqué dans les pays développés et les pays en développement afin de favoriser la mise en œuvre de toutes les technologies/

pratiques pertinentes, et d'encourager la participation des parties prenantes. Ces normes peuvent agir à la fois comme un outil de benchmarking et de surveillance. En outre, elles peuvent être appliquées pour définir l'orientation, ainsi que les objectifs qui évoluent dans le secteur du bâtiment et sa chaîne d'approvisionnement.

Mettre en place des normes efficaces concernant le rendement énergétique pour l'évaluation des bâtiments, aide à niveler le terrain de jeu pour tous les intervenants du secteur du bâtiment. Ces normes devraient commencer par des performances énergétiques minimales réalistes qui sont réalisables sans encourir des coûts supplémentaires élevés pour les propriétaires d'immeubles, les promoteurs, les professionnels et les autres techniciens et les prestataires de services. La conformité avec la typologie préalable d'atténuation - conception solaire passive - comme détaillé dans le chapitre 3, peut fournir un bon point de départ; à la lumière de cela, la réalisation de ces exigences n'engage pas de coût supplémentaire et n'a pas besoin non plus de techniciens hautement qualifiés et formés.

Démontrer l'application des technologies et des pratiques d'atténuation

Au stade initial de la mise en œuvre, montrer comment les technologies/pratiques ciblées d'atténuation sont mises en place et utilisées, fournit des données utiles sur la faisabilité technique et économique. Les projets de démonstration fournissent non seulement des cas d'activités, mais apportent aussi à toutes les parties prenantes, y compris celles qui sont impliquées dans les projets, les leçons apprises.

Dans la plupart des cas, les projets de démonstration sont lancés par le secteur public. Les bâtiments publics, tels que les écoles, les hôpitaux et le logement social, peuvent fournir une bonne gamme de types de bâtiments afin de démontrer diverses technologies/pratiques. Il est utile de commencer par des projets sélectionnés en tant que projets pilotes. Une fois le cas d'activité établi, les technologies/pratiques ciblées peuvent être déployées à une grande échelle pour tous les bâtiments publics. De cette manière, le secteur public mener et être l'initiateur sur le marché des réductions d'émissions de GES dans le secteur du bâtiment. Ce qui est encourageant, c'est que ces derniers temps, de plus en plus de projets de démonstration ont été lancés par le secteur privé dans le cadre des stratégies de marketing, et par les universités ou les instituts de recherche dans le cadre de leurs activités de recherche et de développement.

Établir des centres d'information sur les technologies d'atténuation

Les projets de démonstration sont souvent génériques. Par exemple, certaines technologies peuvent être plus performantes sous certaines conditions qui sont souvent établies dans les projets de démonstration. Cependant, les bâtiments individuels ont un contexte spécifique et peuvent avoir différentes conditions, exigences, opportunités et contraintes en termes d'application de diverses technologies/pratiques d'atténuation. Des centres d'information peuvent être créés, en plus des projets de démonstration, afin de fournir des conseils spécifiques pratiques et une assistance technique aux parties prenantes. Les conseils donnés pourraient inclure des produits spécifiques, des marques, des spécifications techniques, où trouver une entreprise pour faire le travail et la nature de l'aide financière (le cas échéant) disponible (PNUD et FEM, 2010).

Former la main-d'œuvre locale et renforcer les capacités

Développer l'application des technologies/ pratiques d'atténuation ciblées au-delà des projets de démonstration et des projets pilotes, n'est pas possible sans main-d'œuvre et experts qualifiés disponibles localement. En conséquence, le renforcement des instituts de formation technique et des universités

au niveau local, est une priorité à ce stade. Dans les zones rurales et les zones semi-rurales sujettes à l'urbanisation, il est également important d'adapter les programmes de formation pour la main-d'œuvre provenant d'autres secteurs (comme l'agriculture) afin que la main d'œuvre puisse se reconverter dans le secteur du bâtiment. Ainsi, la réalisation du potentiel de réduction des émissions de GES peut également avoir un impact positif sur les aspects locaux, sociaux et économiques.

Créer un environnement propice aux affaires

À ce stade, il est essentiel de créer un environnement propice aux affaires, tournant autour des technologies et pratiques d'atténuation ciblées et autour de leurs activités commerciales. Un tel environnement peut être créé grâce à des incitations fiscales, des subventions et des incitations pour l'incubation, la reconnaissance des meilleures pratiques grâce aux bourses, etc. Celles-ci vont stimuler la montée des entrepreneurs et des champions locaux dans l'application et le développement innovants des technologies et des pratiques d'atténuation ciblées.

Une fois que les parties prenantes locales sont plus compétentes dans les technologies et les pratiques ciblées, le groupe de travail peut réaliser le plan de transfert des connaissances et de l'exportation des technologies à travers le transfert sud-sud.

Promouvoir l'innovation et le développement des technologies/ pratiques d'atténuation

Lorsque les normes de bases en matière de rendement énergétique et l'application des technologies/pratiques ciblées deviennent la norme et sont facilement réalisables par tous les acteurs locaux, les normes de performance énergétique devraient se multiplier pour atteindre des objectifs d'atténuation plus ambitieux. Il est important cependant que ces normes permettent et encouragent l'utilisation des technologies et des pratiques novatrices, au-delà de celles détaillées au chapitre 4.

En outre, les partenariats entre le secteur public, le secteur privé et/ou les universités et les centres de recherche ne doivent pas s'arrêter au niveau de l'application, mais devraient s'étendre à une amélioration et un développement plus importants des technologies/pratiques ciblées.

Mettre en place des mécanismes de surveillance et de retour d'information

Le groupe de travail est fortement conseillé de développer des moyens pour surveiller les progrès réalisés dans la mise en œuvre des technologies et pratiques ciblées d'atténuation, ainsi que de surveiller les réductions d'émissions de GES réalisées. Ces moyens peuvent être sous la forme de rapports d'audit obligatoires périodiques relatifs aux bâtiments de grande envergure qui sont équipés par les technologies et les pratiques d'atténuation ciblées. Ils peuvent également être sous la forme d'un suivi de la macro-consommation d'énergie par les bâtiments dans les zones/quartiers /villages/villes/régions de la mise en œuvre.

Le groupe de travail devrait également établir un mécanisme de retour d'information lors de la mise en œuvre du plan d'action prévu. Les facteurs déclencheurs du mécanisme de retour d'information peuvent être les réductions d'émissions de GES quantifiées périodiquement, ainsi que les retours d'information des acteurs participants. Le plan d'action doit être souple afin qu'il puisse être ajusté et amélioré, capable de répondre au mécanisme de retour d'information. Ainsi, le plan d'action peut être effectué avec résilience afin de répondre à la nature dynamique du contexte local.

6. Conclusions

Le secteur du bâtiment, comme nous l'avons expliqué dans les chapitres précédents, a un impact important sur l'environnement mondial, mais possède aussi un vaste potentiel d'atténuation des effets du changement climatique. Le secteur consomme une grande partie de l'approvisionnement en énergie mondiale, et est à l'origine d'un pourcentage élevé des émissions de GES. Le potentiel de réduction des émissions de GES dans le secteur est considérable, en particulier par le biais de l'amélioration des performances énergétiques dans le bâtiment. Grâce à l'influence généralisée des bâtiments sur de nombreux aspects de notre vie, la réduction des émissions de GES dans le secteur s'accompagne de nombreuses possibilités d'amélioration de la qualité de vie, de la santé, d'autres développements environnementaux, sociaux et économiques pour les utilisateurs des communautés locales, des villages, des villes, des pays et au-delà.

Représentant une modeste contribution à l'optimisation des possibilités que l'on vient de citer, ce livret a identifié les options clés d'atténuation disponibles, a analysé en détail les diverses technologies et pratiques d'atténuation, et a examiné leur mise en œuvre. Il faut cependant bien garder à l'esprit que la mise en œuvre de ces options d'atténuation de manière isolée ne permet pas d'obtenir le résultat escompté. Comme souligné par le PNUD et le FEM (2010), « De grandes économies peuvent être réalisées en optimisant le système du bâtiment en entier plutôt qu'en améliorant les éléments individuellement. Cela ne peut être fait qu'au début de la vie du bâtiment ou lors de rénovations majeures. Le reste de la consommation d'énergie est lié à l'utilisation du bâtiment, du fait du fonctionnement de l'équipement utilisé dans le bâtiment (par exemple, les chaudières, le système CVC, l'éclairage, les appareils électriques, etc.) et du comportement des personnes qui les utilisent (choix de la température, éteindre les lumières et les appareils non utilisés, etc.) ».

Le secteur du bâtiment a une grande influence sur de nombreux autres aspects de nos vies, par exemple le bien-être, la santé, d'autres impacts sociaux, économiques et environnementaux. Par conséquent, en plus de l'approche holistique et relative au cycle de vie des bâtiments, les technologies et pratiques d'atténuation doivent être mises en œuvre en suivant les objectifs et stratégies globaux et durables de la communauté, de la ville, du pays, de la région locale et même de la communauté mondiale. Cette approche a été la ligne directrice lors de la sélection et l'organisation des typologies d'atténuation qui vont de la typologie la plus réalisable à celles dont la mise en œuvre est la plus complexe, comme cela fut expliqué en détail au chapitre 3.

La mise en place du Cadre de prise de Décisions pour la Hiérarchisation des Technologies et des Pratiques d'Atténuation au Niveau National (section 5.1) est une autre application du principe directeur. Le Cadre vise à mener les technologies et les pratiques d'atténuation prioritaires de sorte à qu'elles soient alignées avec la direction que prend le développement national durable. Cela est possible en rendant la mise en œuvre des technologies et pratiques d'atténuation prioritaires partie intégrante des stratégies visant à soutenir la croissance sociale et économique à court, à moyen et à long terme, ainsi que par l'amélioration du bien-être et de la qualité de vie pour la communauté et les individus.

Les stratégies des technologies et pratiques de mise en œuvre (section 5.2) montrent comment les partenariats entre et parmi les différents acteurs (parties prenantes) peuvent contribuer à optimiser le potentiel de la réduction des émissions GES dans le secteur du bâtiment, en mettant l'accent sur la connectivité entre les trois aspects fondamentaux du développement durable (Cam, 2011), à savoir les aspects économiques, sociaux et environnementaux. En d'autres termes, la mise en œuvre efficace des technologies et des pratiques d'atténuation nécessite une approche intégrée qui implique toutes les parties prenantes dans le déploiement des stratégies institutionnelles, financières et de renforcement des compétences de la main-d'œuvre de manière concertée. Ainsi, les principaux obstacles à la réalisation du potentiel des émissions de GES dans le secteur du bâtiment peuvent être surmontés.

Les étapes concrètes de la mise en œuvre (section 5.3) suggèrent des actions étape par étape pour mettre en œuvre les technologies et les pratiques d'atténuation dans le but d'atteindre les objectifs visés. Il est important pour l'équipe EBT nationale de noter que les recommandations sont génériques et peuvent, au mieux, servir de lignes directrices générales. La mise en œuvre détaillée au niveau du pays, de la ville, ou de la communauté locale, doit être soigneusement contextualisée pour être adaptée aux circonstances locales particulières, et ce afin de livrer les résultats attendus.

Les technologies et pratiques d'atténuation sont analysées et examinées avec des objectifs définis (chapitre 4) en prenant compte le développement durable à l'échelle macro. Pour chacune des technologies et pratiques individuelles, la discussion détaillée comprend des analyses sur les contributions (pour l'atténuation du changement climatique et d'autres développements environnementaux, sociaux et économiques), et les détails des exigences techniques, contextuelles et de faisabilité pour la mise en œuvre.

En résumé, ce livre vise à fournir une compréhension détaillée des principales technologies et pratiques d'atténuation disponibles dans le secteur du bâtiment afin de servir de base de travail aux pays qui mènent l'Évaluation des Besoins Technologiques et qui développent des Plans d'Action en matière de Technologie. Les technologies et les pratiques d'atténuation sont examinées à partir d'analyses techniques et prennent en compte de manière très scrupuleuse la capacité de leur mise en œuvre. Les aspects de la mise en œuvre sont les suivants: établir un cadre politique, la faisabilité du renforcement des capacités locales, le potentiel de créer et de satisfaire les demandes du marché local, et la possibilité de transferts sud-sud.

L'analyse de la mise en œuvre a également été étendue au-delà de leur domaine technique, allant jusqu'à la mise en place de mesures pour obtenir des bâtiments durables. Les bâtiments réellement durables se réfèrent à ceux qui sont en mesure d'enrichir nos sens lors de notre interaction quotidienne avec l'environnement bâti et l'environnement naturel. Ils transmettent ainsi à leurs occupants, aux parties prenantes, et au grand public, la beauté d'avoir un mode de vie et des pratiques durables. Cette importante qualité sublime les bâtiments durables au-delà des simples obligations physiques et de celles liées à la performance des bâtiments, pour passer au domaine spirituel visant à guider le mode de vie et les pratiques durables (Cam, 2005). Il s'agit là de conditions et d'avantages supplémentaires mais essentiels à la mise en œuvre des technologies et des pratiques d'atténuation. Elles constitueront les piliers pour encourager le mode de vie et le comportement durable des occupants et des communautés des bâtiments; elles sont également renforcées par des programmes éducatifs et des campagnes publiques de sensibilisation menés par le secteur public, les ONG et les médias. Une telle approche systématique permettra au secteur du bâtiment de matérialiser ses énormes potentiels d'atténuation et d'améliorer la qualité de l'environnement bâti pour y vivre, apprendre, travailler et jouer.

Références

Abbaspour M., Hennicke P., Massarrat M. & Seifried D. (2005). Case Study: Solar Thermal Energy in Iran Saving energy, realising net economic benefits and protecting the environment by investing in energy efficiency and renewable energies. Heinrich Böll Foundation. [En ligne]: http://www.ceers.org/News/Solar_Iran-Execut_Summary.pdf

ABS Energy Research (2007). Prepayment Metering (2ème éd.). ABS Energy Research.

Alternative Energy Africa News (13/05/2010). Analysis Offers Insight to Building Management Systems. [En ligne]: www.ae-africa.com/read_article.php?NID=2037 &PHPSESSID=b014def7eb758525de05f8d001265dd3

Ander D. G. (2008). Daylighting. In Whole Building Design Guide. USA: Whole Building Design Guide. [En ligne]: www.wbdg.org/resources/daylighting.php#

Auroville Earth Institute (2009). Earth Based Technologies. [En ligne]: www.earth-auroville.com/maintenance/uploaded_pics/4-cseb-en.pdf

Auroville Earth Institute (2009). Moveable House Built in 64 Hours. [En ligne]: www.earth-auroville.com/maintenance/uploaded_pics/10-moveable-house-en.pdf

Barefoot College, Campus website. [En ligne]: http://www.barefootcollege.org/barefoot_aboutus_campus.Asp

BASF Asia Pacific (2010). BASF Contributes to Ultra-low Energy Hamburg House at Shanghai EXPO 2010. [En ligne]: www.asiapacific.basf.com/apex/AP/AsiaPacific/en/upload/Press2010/Hamburg_House

BCA (2007). Green Building Design Guide – Air-conditioned Buildings. Singapour: Building and Construction Authority.

Bentley (2009). Product Data Sheet: Bentley® Simulator V8i Industry – Leading Building Energy Modeling and Simulation. Bentley. [En ligne]: <ftp://ftp2.bentley.com/dist/collateral/Web/Building/BentleyTas/BentleyTAS-ProductDataSheet.pdf>

Bertoldi P., Rezessy S. & Urge-Vorsatz D. (2005). Tradable Certificates for Energy Savings: Opportunities, Challenges & Prospects for Integration with other Market Instruments in the Energy Sector. In Energy and Environment, 16(6), pp.959-992.

Bhattacharya S. & Cropper L. M. (2010). Options for Energy Efficiency in India and Barriers to Their Adoption: A Scoping Study. Washington D. C.: Resources for the Future. Technologies for Climate Change Mitigation – Building Sector

Bradsher K. (08 December 2010). China's green-centric tycoon. The Bulletin. [En ligne]: http://www.bendbulletin.com/apps/pbcs.dll/article?AID=/20101208/NEWS0107/12080349/1011/BIZ01&nav_category=BIZ01

Brandes M. O., Renzetti S., and Stinchcombe K. (2010). Worth Every Penny: A Primer on Conservation-Oriented Water Pricing. POLIS Project on Ecological Governance, University of Victoria. [En ligne]: www.allianceforwaterefficiency.org/.../POLIS-Primer-on-Conservation-Rate-Structures-May-2010.pdf

Broad Sustainable Building (2010). Construct a Beautiful World. [En ligne]: <http://www.broad.com:8089/english/zlxz>

Brown R. L. (2009). Plan B 4.0: Mobilizing to Save Civilization. New York: W.W. Norton & Company.

Bureau of Indian Standards (1987). SP: 41 (S&T) -1987 - Handbook on functional requirements of buildings. New Delhi.

Cam C.N.W. (2005). Environmental Performance and Sustainable Architecture: A Critical Review in the Context of Singapore Public Housing (Phd Thesis). National University of Singapore. Singapore.

Cam C.N.W. (2010). From Global Climate Change Issues to Low Carbon Cities: the Triple Bottom Line Revisit. First International Conference on Sustainable Urbanization. Hong Kong, 15-17 décembre, 2010.

Cam C.N.W. (2011). Fostering Interconnectivity Dimension of Low-Carbon Cities. Habitat International journal. Elsevier.

Chiang K. & Tan A. (2009). Vertical Greenery for the Tropics. Singapore: National Parks Board, National University of Singapore and Building and Construction Authority.

China Real Estate News. (2010). Green roof temperature can drop 20-40 degrees Celsius in summer. 26 July 2010. [En ligne]: <http://www.chinarealestatenews.com/news/2010-07-26/86658>

Davies C. (2010). Solar energy brings power to rural Africa. CNN News. [En ligne]: <http://edition.cnn.com/2010/TECH/innovation/08/10/solar.energy.africa/#fbid=qcXZ7rtCWtX & wom =false>

Designbuilt-network.com (accessed on 28 Nov. 2010). Bahrain World Trade Centre, Manama, Bahrain. [En ligne]: www.designbuild-network.com/projects/bahrain

Deutsche Botschaft Dhaka (accessed on 17 Nov. 2010). Prepaid Electricity Meters Quickly Catching on in Bangladesh. [En ligne]: www.dhaka.diplo.de/Vertretung/dhaka/de/07/EZ/Praxis/Energieeffizienz/Energieeffizienz_eite.html

District of Saanich (accessed on 20 Mar. 2011). Tap By Tap Energy and Water Saving Fixture Exchange. [En ligne]: <http://www.saanich.ca/living/climate/tapbytap.html>

DLS. (2009). Green Building Products and Technologies Handbook. Singapore: Davis Langdon & Seah Singapore Pte Ltd.

Dunnett N. & Kingsbury N. (2008). Planting Green Roofs and Living Walls. Portland, USA and London, UK: Timber Press.

E.C. (2009). ICT for a Low Carbon Economy: Smart Buildings. Brussels: ICT for Sustainable Growth Unit, European Commission.

Ekodoma C. R. (2004). The Case for District Heating: 1000 Cities Can't Be Wrong! – A Guide for Policy and Decision Makers. RU: DHCAN.

EMA & BCA (2009). Handbook for Solar Photovoltaic (PV) Systems. Singapore: Energy Market Authority & Building and Construction Authority.

en.lighten Initiative (2009). Efficient Lighting for Developing and Emerging Countries. [En ligne]: <http://www.enlighten-initiative.org/Portals/94/Final%20English%20Brochure.pdf>

Energy Charter Secretariat (2005). Cogeneration and District Heating: Best Practices for Municipalities. Bruxelles, Belgique

Environmental Leader Insight (2010). Global Energy Efficient Lighting Market to Hit \$32.2 Billion by 2015.

Issue 08.09.2010 [En ligne]: <http://www.environmentalleader.com/2010/09/08/global-energy-efficientlighting-market-to-hit-32-2-billion-by-2015/>

EPC Watch (2007). Measurement & Verification of Energy Efficiency Projects: Guidelines. [En ligne]: <http://energyperformancecontracting.org/Guide-MandV1.pdf>

ETAP (2006). Austria reaches Top Position in Passive House Technology thanks to the “Building of Tomorrow” Programme. Environmental Technologies Action Plan. [En ligne]: http://ec.europa.eu/environment/etap/pdfs/oct06_building_of_tomorrow_austria.pdf

EURIMA (2005). Insulation and Energy Efficiency: Protecting the Environment and Improving Lives. European Insulation Manufacturers Association [En ligne]: www.eurima.org/uploads/Documents/documents/Insulation_and_Energy_Efficiency_Naima_Eurima_Lx_11_2005.pdf

Euroheat & Power (2007). District Heating and Cooling – 2007 Statistics. [En ligne]: www.euroheat.org/Statistics-69.aspx

European Commission (2007). Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Limiting global climate change to 2 degrees Celsius - The way ahead for 2020 and beyond. Brussels, Belgium. [En ligne]: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52007DC0002:EN:NOT>

European Commission (2009). ICT for a Low Carbon Economy: Smart Buildings. Brussels: ICT for Sustainable Growth Unit, European Commission.

EWEA (2009). Wind Energy: The Facts. European Wind Energy Association 2009. [En ligne]: www.windenergy-the-facts.org

Feist W. (2005). First Steps: What Can be a Passive House in Your Region with Your Climate? Darmstadt: Passive House Institute.

Forestry News (2010). Nepal Biogas Project: Reducing emissions while providing community benefits. [En ligne]: www.forestrynepal.org/article/news/375 Technologies for Climate Change Mitigation – Building Sector

Freedonia (2010). World HVAC Equipment: Industry Study with Forecasts for 2014 & 2019. Clever land, USA: the Freedonia Group.

Goldman C., Hopper N. & Osborn J. (2005). Review of US ESCO Industry Market Trends: an Empirical Analysis of Project Data. In Energy Policy, 33, pp.387-405.

Goswami A., Dasgupta M. & Nanda N. (2010). Mapping Climate Mitigation Technologies and Associated Goods within the Buildings Sector. India: International Centre for Trade and Sustainable Development.

Government of Western Australia (2010). Approved Grey Water Reuse Systems. [En ligne]: www.public.health.wa.gov.au/cproot/1342/2/Approved%20Greywater%20Reuse%20Systems.pdf

Graham C. I. (2009). High-Performance HVAC. In Whole Building Design Guide. Washington D.C.: National Institute of Building Sciences. [En ligne]: www.wbdg.org/resources/hvac.php

Graham, P. (2003). Building Ecology: First Principles for a Sustainable Built Environment. Oxford: Blackwell.

Green Communities (website accessed on 09.11.2010). Food Security In The Form Of Food Tunnels. [En ligne]: www.greencommunities.co.za/projects-food.asp

GRHC. (2008). Introduction to Green Walls Technology, Benefits and Design. Green Roofs for Healthy Cities.

Grimshaw J. D. & Lewis S. (2010). Solar power for the poor: facts and figures. Science and Development Network. [En ligne]: www.scidev.net/en/south-asia/features/solar-power-for-the-poor-facts-and-figures-1.html

Haase M. & Amato A. (2006). Ventilated Façade Design in Hot and Humid Climate. In Proceedings of The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6-8 September 2006.

Hausladen G., Saldanha M., Liedl P. & Sager C. (2005). Climate Design: Solutions for Buildings That Can Do More with Less Technology. Munich: Birkhauser.

Hermelink A. (2006). A Retrofit for Sustainability: Meeting Occupants' Needs within Environmental Limits. [En ligne]: www.solanova.org/resources/SOLANOVA_Paper_Pacific_Grove_08-2006_Hermelink_web.pdf

Hydroball (2007). Product Specification. [En ligne]: www.hbt.com.sg/design_spec.htm

IEA (2001). Things that Go Blip in the Night: Standby Power and How to Limit It. Paris: International Energy Agency.

IEA (2008). Commissioning Tools for Improved Energy Performance. [En ligne]: www.ecbcs.org/docs/Annex_40_Commissioning_Tools_for_Improved_Energy_Performance.pdf

IEA (2009). World Energy Outlook 2009. Paris: International Energy Agency.

IEA (2002). The Integrated Design Process in Practice: Demonstration Projects Evaluated. IEA Task 23 – Optimization of Solar Energy Use in Large Buildings. [En ligne]: www.iea-shc.org/task23/publications/CS_demobuildings.pdf

IEA & OECD (2010). Energy Technology Perspectives 2010: Scenarios and Strategies to 2050. Paris: International Energy Agency and the Organisation for Economic Co-operation and Development.

Imagine Durban, Ethekwini Energy Office & Ethekwini Electricity Department (2009). Saving Electricity in Commercial and Industrial Buildings and Operations: A Guide to Reducing Costs and Helping to Avoid Load-Shedding. Ethekwini, Afrique du Sud.

INBAR (accessed on 20 Oct 2010). Bamboo Quake-resistant housing solution: Reconstruction and rehabilitation by using prefabricated modular bamboo houses in the earthquake affected area of Sichuan Province in China: A demonstration project.[En ligne]: www.inbar.int/Board.asp?BoardID=341

IPPC/TEAP (2005). Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System: Issues Related to Hydrofluorocarbons and Perfluorocarbons. Special Report. Cambridge: Cambridge University Press.

iPlanet (2010). Leviathani Planet Energy Industry News [En ligne]: iplanetenergynews.com/index.php/2010/08/24/leviathan-energy%E2%80%99s-wind-lotus-1st-small-vertical-axis-wind-turbine-toconnect-to-israels-electrical-grid

ISOPA & Polyurethanes (2009). Fact Sheet: Saving Energy in Buildings through Thermal Insulation with Polyurethane. [En ligne]: [www.isopa.org/isopa/uploads /Documents/documents/Energy%20Saving%20in%20Buildings.pdf](http://www.isopa.org/isopa/uploads/Documents/documents/Energy%20Saving%20in%20Buildings.pdf)

Johnson Controls (accessed on 22 March 2011). Water and Energy Efficiency With Economic Impact. [En ligne]: http://www.johnsoncontrols.com/publish/us/en/products/building_efficiency/energy_efficiency/water_solutions/energypluswater.html

Johnston J. & Newton J. (1993). Building Green: A Guide to Using Plants on Roofs, Walls and Pavements. Londres: London Ecology Unit

Jones D. L. (1998). Architecture and the Environment. Londres: Laurence King Publishing.

Kaufman S. (1990). Rural Electrification with Solar Energy as a Climate Protection Strategy. Renewable Energy Policy Project. [En ligne]: http://www.repp.org/repp_pubs/articles/resRpt09/00bExSum.htm

Khadem, K.S. (2006). Feasibility Study of Wind Home System in Coastal Region of Bangladesh. Homer Energy. [En ligne]: http://homerenergy.com/webcast-downloads/WE58_FeasibilityWHS_Bangladesh.pdf

KPMG (2009). Central and Eastern European District Heating Outlook. Budapest, Hungary: KPMG Energy & Utilities Centre of Excellent Team.

Kuntatekniikka K.O., Niskanen S. & Lahti P. (2001). Case Study: Tervola Small-scale CHPBio Energy Plant. [En ligne]: <http://www.cardiff.ac.uk/archi/programmes/cost8/case/energy/finland-tervola.pdf>

Labbe S. (2010). Influence of Material Use in Green Building Policies (A Convenient Truth).Presentation at UNECE Timber Committee Market Discussions and Policy Forum. 11-14 oct 2010. [En ligne]: <http://timber.unece.org/fileadmin/DAM/meetings/20101011/01-labbe.pdf>

Lane T. (4 juin 2010). Embodied energy: The next big carbon challenge. Building.co.uk. [En ligne]: <http://www.building.co.uk/technical/embodied-energy-the-next-big-carbon-challenge/5000487.article>
Technologies for Climate Change Mitigation – Building Sector

Lang G. W. (2009). International Passivhaus Database 1. Period of Documentation 2007 – 2009: 20,000 Passivhaus Projects in Europe.Intelligent Energy Europe & PASS-NET. [En ligne]: www.pass-net.net/downloads/pdf/report_international_ph-database.pdf

Lapithis P. (2004). Traditional vs. Contemporary vs. Solar Buildings. In Proceedings ISES Conference, Freiburg, Allemagne. 19-22 juillet 2004.

Larsson N.(2005). Integrated Design Process. [En ligne]: www.iisbe.org/down/gbc2005/Other_presentations/IDP_overview.pdf

Larsson N. (2009). The Integrated Design Process; History and Analysis. iiSBE. [En ligne]: <http://www.iisbe.org/system/files/private/IDP%20development%20-%20Larsson.pdf>

LBNL. (2006). High-Performance Commercial Building Facades. California: Lawrence Berkeley National Laboratory. [En ligne]: www.energy.ca.gov/2006publications/CEC-500-2006-052/CEC-500-2006-052-AT15.PDF

Levine M., Urge-Vorsatz D., Blok K., Geng L., Harvcey D., Lang S., Levermore G., Mongameli Mehlwana A., Mirasgedis S., Novikova A., Rillig J. & Yoshino H. (2007). Residential and Commercial Buildings. In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Metz B, Davidson O. R., Boshch P. R., Dave R. & Meyer L. A. (eds)]. United Kingdom & United States: Cambridge University Press.

Liebard A. & Herde A. D. (2010). Bioclimatic Facades. Paris: Somfy.

Lohnert G., Dalkowski A. & Sutter W. (2003). Integrated Design Process Guideline. Berlin/Zug: International Energy Agency.

Lohnert G., Dalkowski A. & Sutter W. (2003). Integrated Design Process Guideline. Berlin/Zug: International Energy Agency.

Lou Y.P., Li Y.X., Kathleen B., Giles H. & Zhou G. (2010). Bamboo and Climate Change Mitigation. Beijing: International Network for Bamboo and Rattan.

Lu L. (2010). Green Solutions: Siemens continues its traditional partnership with World Expos and offers its green solutions to Shanghai. In BEIJINGREVIEW.com.cn No. 22, 3 June 2010. [En ligne]: http://www.bjreview.com.cn/nation/txt/2010-05/31/content_275463.htm

Luck T. (2010). Grandmother's new job: photovoltaic engineer. In The Jordan Times. 27th June, 2010. [En ligne]: <http://www.jordantimes.com/?news=27804>

Mehta R. & Bridwell L. (2004). Innovative Construction Technology for Affordable Mass Housing in Tanzanie, East Africa. In Construction Management and Economics (2004) 22. Spon Press.

Mills E. (2005) The spectre of fuel-based lighting. In Science 308 (27 May) pp. 1263-1264.

Nelson D. (2010). Energy Efficient Lighting. In Whole Building Design Guide. USA: Whole Building Design Guide. [En ligne]: <http://www.wbdg.org/resources/efficientlighting.php>

North West Community Energy (2002). Centralized Anaerobic Biogas Plants Chino Basin, California. [En ligne]: <http://nwcommunityenergy.org/biogeo/bioenergy-case-studies/chino-basin-project>

NParks (2010). Green Roof Incentive Scheme. [En ligne]: www.skyrisegreenery.com/index.php/home/gris/green_roof_incentive_scheme

NParks & NUS (2002). Handbook on Skyrise Greening in Singapore (1st edition). Singapore: National Parks Board and National University of Singapore.

OECD (2009). *Alternative Ways of Providing Water: Emerging Option and Their Policy Implications*. Organisation for Economic Cooperation and Development: Working Party on Global and Structural Policies.

OECD/IEA (2004). *Coming from the Cold: Improving District Heating Policy in Transition Economies*. Paris:OECD/IEA.

Ong B.L., Cam C.N., Zhang J. & Wang C.N. (2003). *An Investigation into the Application of Green Plot Ratio: the Case Study of One North*. Research Report. Singapore: National University of Singapore.

Palitza K. (2010). *South Africa: Greening Project Creates Income and Food Security*. Thomson Reuters Foundation & AlertNet. [En ligne]: www.alertnet.org/thenews/newsdesk/ips/2e11e5498a38413ee90abbd38d76fb25.htm

Panasia Engineers Pte.Ltd. (2010). *Providing Thermal Comfort In India Is a Whole New Ball Game*. [En ligne]:http://www.panasiaengineers.com/pdf/Providing_Thermal_Comfort_In_India.pdf

Passarelli R. G. (2009). *Sick building syndrome: An overview to raise awareness*. In *Journal of Building Appraisal* 5, 55-66 (Summer 2009).

Passive House Institute (accessed on 20 Nov. 2010). *Passive house Construction Check List*. [En ligne]: www.passiv.de/07_eng/index_e.html

Passivhaus Datenbank (accessed on 20 Nov. 2010). *Passivhaus Datenbank*. [En ligne]: www.passivehousedatabase.eu/obj_basic_show.php?objID=RO-0005

Peck S. W., Callaghan C., Bass B. & Kuhn M. E. (1999). *Greenbacks from Green Roofs: Forging a New Industry in Canada*. Research Report. Ottawa: Canadian Mortgage and Housing Corporation (CMHC).

People's Daily En ligne (16 March 2010). *Bamboo provides new hope for Sichuan*. [En ligne]: <http://english.people.com.cn/90001/90776/90882/6921313.html>

Pew Center on Global Climate Change (2009). *Residential Building End-Use Efficiency*. [En ligne]:http://www.pewclimate.org/docUploads/Residential%20End-Use%20Efficiency%20final_0.pdf

Pike Research (5 May 2010). *LED Lighting Penetration to Reach 46% of the Commercial Building Lamp Market by 2020*. [En ligne]: <http://www.pikeresearch.com/newsroom/led-lighting-penetration-to-reach-46-of-the-commercial-building-lamp-market-by-2020>
Technologies for Climate Change Mitigation – Building Sector

Poirazis H. (2006). *Double Skin Façade: A Literature Review*. A report of IEA SHC Task 34 ECBCS 43. Lund, Sweden: Lund University. [En ligne]: www.ecbcs.org/docs/Annex_43_Task34-Double_Skin_Facades_A_Literature_Review.pdf

Price L., Dela Rue du Can S., Sinton J., Worrell E. (2006). *Sectoral Trends in Global Energy Use & GHG Emissions*. Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory.

Public Works and Government Services Canada (06, Jan. 2011). *Integrated Design Process (IDP)*. [En ligne]: <http://www.tpsgc-pwgsc.gc.ca/biens-property/sngp-npms/conn-know/enviro/pci-idp-eng.html>

Purnell P. (2012). *Material Nature versus Structural Nurture: The Embodied Carbon of Fundamental*

Structural Elements. In *Environmental Science & Technology* (2012) 46. Pp. 454-46. [En ligne]: <http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es202190r>

Ramon A.P. & Burgos A.C. (2008). Moving the Entire Building Sector towards Low CO Emissions. PLEA 2008 – 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture. Dublin: 22nd to 24th October 2008. [En ligne]: http://architecture.ucd.ie/Paul/PLEA2008/content/papers/oral/PLEA_FinalPaper_ref_399.pdf

REN21 (2009). Renewable global status report: 2009 update. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century.

Ritch E. (27, Oct. 2009). CalStar gives sneak peek of low-carbon brick factory. Cleantech Group LLC. [En ligne]: <http://cleantech.com/news/5217/calstar-flyash-low-carbon-brick>

Ruter S. (2010). Consideration of Wood Products in Climate Policies and its Linkage to Sustainable Building Assessment Schemes. In *Proceedings of the International Convention of Society of Wood Science and Technology and United Nations Economic Commission for Europe – Timber Committee*, October 11-14, 2010, Geneva, Switzerland.

Serghides K. D. (2010). The Wisdom of Mediterranean Traditional Architecture Versus Contemporary Architecture – the Energy Challenge. In *The Open Construction and Building Technology Journal*, 2010, 4, p.29-38.

Sharma A., Dhote K. K. & Tiwari R. (2003). Climate Responsive Energy Efficient Passive Techniques in Buildings. *IE (I) Journal-AR Volume 84*.

Smart Communities Network (2003). Ten Steps to Sustainability. [En ligne]: www.smartcommunities.ncat.org/management/tensteps.shtml

Stewart D.L., Daley J.C. & Stephens R.L. (Eds.) (2000). *The Importance of Recycling to the Environmental Profile of Metal Products*. Pittsburgh: The Mineral, Metals & Materials Society.

SUN & UNEP SBCI (2010). The 'State of Play' of Sustainable Buildings in India. [En ligne]: www.unep.org/sbcipdfs/State_of_play_India.pdf

Tanachaikhan L., Kumar S. (2009). Day lighting for Energy conservation in the tropics: a study on the influences of window configurations and shading devices. *International Journal of Engineering Systems Modelling and Simulation*, Vol. 1, p.144-159.

Torcellin P, Pless S., Deru M. & Crawley D. (2006). *Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition*. USA: National Renewable Energy Laboratory.

Troi A. Vougiouklakis Y., Korma E., Jahnig D., Wiemken E., Franchini G., Mugnier D., Egilegor B., Melograno P. & Sparber W. (2008). Solar Combi+: Identification of most promising markets and promotion of standardised system configurations for small scale solar heating & cooling applications. *Solar Combi+*. [En ligne]: www.solarcombiplus.eu/NR/rdonlyres/A1CE3D58-F612-4A70-9F7B-3CF4BE041209/0/EUROSUN08_EURAC.pdf

UN DESA (2009). *World Population Prospects: The 2008 revision*. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, New York. [En ligne]: http://www.un.org/esa/population/publications/wpp2008/wpp2008_highlights.pdf

UNDP (2010). Handbook for Conducting Technology Needs Assessment for Climate Change. New York: UNDP.

UNDP & GEF (2010). Promoting Energy efficiency in buildings: Lessons Learned from International Experience. New York: UNDP

UNEP (25 Sep. 2009). Global Phase Out of Old Bulbs Announced by UN, GEF, and Industry (Press Release). [En ligne]: <http://www.unep.org/resourceefficiency/News/PressRelease /tabid/428/language/fr-FR/Default.aspx?DocumentID=596&ArticleID=6331&Lang=en>

UNEP (2011a). HFCs: A Critical Link in Protecting Climate and the Ozone Layer. [En ligne]: http://www.unep.org/dewa/Portals/67/pdf/HFC_report.pdf

UNEP (2011b). Towards a Green Economy: Pathway towards Sustainable Development and Poverty Eradication. [En ligne]: http://www.unep.org/GreenEconomy /Portals/93/documents/Full_GER_screen.pdf

UNEP SBCI(2007). Buildings and Climate Change: Status, Challenges and Opportunities. Paris: UNEP Sustainable Buildings and Climate Initiative.

UNEP SBCI (2009). Buildings and Climate Change: Summary for Decision-Makers. Paris: UNEP-DTIE, Sustainable Consumption & Production Branch.

UNEP SBCI (2010). The 'State of Play' of sustainable buildings in India. Paris: United Nations Environment Programme, Sustainable Buildings and Climate Initiative, Paris. [En ligne]: http://www.unep.org/sbci/pdfs/State_of_play_India.pdf

UNEP SBCI& CEU (Central European University) (2007). Assessment of Policy Instruments for Reducing Greenhouse Gas Emissions from Buildings. Paris: UNEP-DTIE, Sustainable Consumption & Production Branch.

UNEP SBCI & SKAT (2007). After the Tsunami: Sustainable Building Guidelines for South-East Asia. [En ligne]: www.unep.org/sbci/pdfs/After-Tsunami-Sustainable-building-guidelines.pdf

URC TNA Team (2012). Barriers Analysis: The Characterization of Technologies. Second Regional Capacity Building Workshop (Second round countries), Chisamba, Zambia, 14-17 Feb. 2012. Technologies for Climate Change Mitigation – Building Sector

US EPA (2009). Buildings and their Impact on the Environment: A Statistical Summary. [En ligne]: <http://www.epa.gov/greenbuilding/pubs/gbstats.pdf>

USGBC (1996). Sustainable Building Technical Manual (SBTM). USA: Public Technologies Inc., US Green Building Council.

US GSA (2005). The Building Commissioning Guide. Washington D.C.: US General Services Administration.

Wallbauma H., Silva L., Plessis C., Cole R., HoballahA. & KrankS.(2010). Motivating Stakeholders to Deliver Change. 3rd International Holcim Forum for Sustainable Construction – “Re-inventing Construction”.

Universidad Iberoamericana, Mexico City, April 14-17, 2010. [En ligne]: http://www.holcimfoundation.org/Portals/1/docs/F10/ExpertPapers/F10_OrangeWorkshop_Paper_AllAuthors.pdf

Weiss W., Bergmann I. & Faninger G. (2005). Solar Heating Worldwide, Markets and Contribution to the Energy Supply 2003. Austria: IEA Solar Heating and Cooling Programme.

Winkel, M., Mcleod, A., Wallace, R., and Williams R. (2006). Energy Policy and the institutional context: marine energy innovation systems. Energy Policy. Volume 33. 5, pp. 365-76.

Wong N. H., Chen Y., Ong C. L., and Sia A. (2003). Investigation of Thermal Benefits of Rooftop Garden in the Tropical Environment. Building and Environment. 38(2003) p. 261-270.

Wong N. H., Tan A. Y. K., Chen Y., Sekar K., Tan P. Y., Chan D., Chiang K., & Wong N. C. (2009). Thermal Evaluation of Vertical Greenery Systems for Building Walls. Building and Environment. [En ligne]: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.08.005>

World Bank (2010). Compact Fluorescent Light Bulbs Save Ethiopia's Rural Households Money and Energy. 02.09.2010. [En ligne]: http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/COUNTRIES/AFRICAEXT/0,,contentMDK:22692675~pagePK:146736~piPK:226340~theSitePK:258644,00.html?cid=3001_2

WBCSD (2008). Energy Efficiency in Buildings Facts & Trends. World Business Council for Sustainable Development's Report. Switzerland: Atar Roto Presse SA. [En ligne]: http://www.wbcd.org/DocRoot/JNHhGVcWoRIIP4p2NaKI/WBCSD_EEB_final.pdf

XCO2 (2002). Insulation for Sustainability – A Guide. [En ligne]: www.pu-europe.eu/site/fileadmin/Reports_public/sustainability_a_guide.pdf

Zenman J. (2003). Clean District Heating in Jindřichův Hradec Teplospol, a.s, Czech Republic. Presentation at managEnergy Workshop on Biomass Utilisation at Local and Regional Level, 4-5 February 2003, Bratislava, Slovaquie

Zhong Z. & Ceranic B. (2007). FengShui – A Systematic Research of Vernacular Sustainable Development in Ancient China and Its Lessons for Future. 7th CARE Annual General Meeting, Greenwich, 15 sep. 2007.

Zhou N. (2008). Status of China's Energy Efficiency Standards and Labels for Appliances and International Collaboration. USA: Ernest Orlando Berkeley National Laboratory.

Annexe I

Résumé: Technologies et Pratiques d'atténuation des effets du changement climatique

Rénovation & utilisation innovatrice des matériaux traditionnels de bâtiment et conception					
Technologies et pratiques associées	Applicabilité contextuelle	Prérequis critiques de l'application	Faisabilité de la mise œuvre	Besoins financiers	Contribution à la Triple Bottom Line (approche triple du développement durable)
Matériaux de construction liés à la terre	Les zones rurales où les types de sols appropriés sont disponibles.	Comprendre les types et les caractéristiques du sol local. Produire, concevoir et tester les matériaux pour leur performance (y compris la capacité portante) pour répondre aux normes de construction sécuritaires avant l'application à grande échelle.	Surmonter les perceptions négatives, par exemple, la rénovation et l'utilisation innovante des matériaux de bâtiment traditionnels et la conception, sont pour les pauvres.	Faible coût/ Absence de coût supplémentaire pour la mise en œuvre	Respectueux de l'environnement et économiquement avantageux pour les résidents ruraux des pays en développement, en particulier les pays les moins développés.
Les pratiques Chinoises traditionnelles de l'orientation du bâtiment et de l'organisation de l'espace intérieur	Principalement en Chine, et d'autres domaines applicables dans l'hémisphère Nord.	Comprendre la logique derrière les principes pertinents des pratiques Chinoises traditionnelles de l'orientation du bâtiment et de l'organisation de l'espace intérieur pour une application qui améliore scientifiquement les avantages de la performance environnementale	Réduire et renforcer les capacités des architectes, ingénieurs, constructeurs et techniciens qualifiés locaux.	Absence de coût supplémentaire pour la mise en œuvre	Conditions climatiques locales appropriées. Utiliser les ressources disponibles et accessibles localement. Encourager les fabricants locaux.
Les stratégies traditionnelles de conception du bâtiment en Méditerranée	Principalement dans la région méditerranéenne, et d'autres zones côtières chaudes et arides.	Nécessiter les bonnes connaissances et compétences techniques pour la construction étanche à l'eau.	Lancer des projets de démonstration de qualité.		La création d'emplois pour la main-d'œuvre locale ayant des compétences facilement disponibles.
Enveloppe du bâtiment refroidie par l'eau	Régions chaudes et arides	Nécessiter l'entretien pour garder le contenant de l'eau propre, remplir l'eau et empêcher les oiseaux de nicher.	Favoriser la collaboration entre les ONG, les organismes gouvernementaux et les communautés locales.	Nécessiter des accords financiers pour les coûts de la construction et de l'entretien.	Bâtiments résultants qui sont contextuellement, socialement et culturellement familiers pour les utilisateurs locaux.

Conception et technologies de la maison passives					
Technologies et pratiques associées	Applicabilité contextuelle	Prérequis critiques de l'application	Faisabilité de la mise œuvre	Besoins financiers	Contribution à la Triple Bottom Line
Conception du bâtiment solaire passif	Toutes les régions	<p>Concevoir des bâtiments répondant aux conditions climatiques locales, y compris mais non limité à:</p> <ul style="list-style-type: none"> - L'orientation qui est optimisée pour la forme de la terre, la trajectoire du soleil et les vents saisonniers et diurnes dominants - La conception de l'autonomie de l'ombrage - La forme compacte. 	Mener des recherches pour identifier les stratégies appropriées de conception, les normes quantitatives et les détails et systèmes de construction afin de faire face aux conditions climatiques locales.	Absence de coût supplémentaire pour la mise en œuvre	<p>Économiser l'énergie grâce à l'optimisation de la conception pour la lumière du jour et la ventilation.</p> <p>Offrir aux occupants du bâtiment un confort thermique.</p> <p>Économiser l'énergie, ce qui conduit à éviter les demandes d'énergie supplémentaires qui causent des investissements supplémentaires, et ce pour augmenter la capacité des infrastructures et des installations locales d'électricité communale.</p> <p>Aider la main d'œuvre locale de la construction à améliorer ses compétences techniques, conduisant à de meilleures perspectives d'emploi.</p>
Construction étanche à l'air	Régions tempérées	<p>Nécessiter d'excellentes compétences en construction qui paient une grande attention aux détails, en particulier aux articulations, bord de portes, etc.</p> <p>Mettre en place des mesures de la qualité de l'air d'intérieur, par exemple, utiliser des matériaux de bâtiments à faible/absence composés organiques volatils, procédure de purge appropriée avant l'occupation.</p>	<p>Établir des lignes directrices et des normes de conception générales pour servir de tremplin pour adoption à grande échelle.</p> <p>Renforcer les capacités locales pour les architectes, les ingénieurs, les constructeurs et les techniciens.</p> <p>Organiser des ateliers de formation pour les constructeurs et les techniciens qualifiés afin de répondre aux besoins de compétences, surtout dans la construction étanche à l'air et l'isolation de haute performance.</p>	Des coûts d'investissement supplémentaires sont nécessaires pour délivrer une isolation de l'enveloppe à haute performance, des fenêtres triple vitrage, une construction étanche à l'air, des ventilateurs-récupérateurs de chaleur, des détails stricts de construction, etc.	
Isolation de l'enveloppe à haute performance		<p>Isoler l'enveloppe du bâtiment selon des normes strictes afin de limiter les pertes thermiques.</p> <p>Installer un système de triple vitrage pour les fenêtres.</p> <p>Éviter le pont thermique entre des points faibles d'isolation thermique, tels que les cadres de fenêtres et les articulations.</p>	<p>Étendre le renforcement des capacités et le cadre institutionnel favorable aux fabricants locaux, afin de leur permettre de produire localement les composants et les matériaux de la maison passive.</p>		
Ventilation avec récupération de chaleur	Toutes les régions	<p>Transférer l'énergie thermique de l'air évacué vers l'air frais entrant afin de rendre la température de l'air entrant plus proche de celle de l'air intérieur.</p>			

Cycle de vie et processus de conception intégré					
Technologies et pratiques associées	Applicabilité contextuelle	Prérequis critiques de l'application	Faisabilité de la mise œuvre	Besoins financiers	Contribution à la Triple Bottom Line
Approche inter-disciplinaire et interactive	Toutes les régions	<p>Le soutien des clients/ promoteurs/propriétaires d'immeubles engagés.</p> <p>Former une équipe interdisciplinaire, comprenant; client, architecte, ingénieur en structure et génie civil, ingénieur mécanique et électrique, économiste en construction, consultant en énergie, architecte paysagiste, directeur d'installation, entrepreneur (constructeur) et animateur de conception, à la création du projet.</p> <p>Fixer des objectifs de haute performance, des considérations relatives au cycle de vie et des objectifs de conception comme des objectifs ultimes pour diriger l'interaction et les relations de travail entre les membres de l'équipe.</p> <p>Autoriser des boucles itératives d'activité tout au long de chaque étape de la conception; du conceptuel au schématique à la conception détaillée et la documentation pour la construction.</p>	<p>Incitations de la part du gouvernement, par exemple, en prenant les devants, en soutenant les clients dans les projets de construction financés par l'État.</p> <p>Changement de mentalité des principaux acteurs dans le secteur du bâtiment afin d'adopter la pratique avec un esprit ouvert et un esprit d'équipe.</p> <p>Le renforcement des capacités afin de sensibiliser les acteurs et</p> <p>Professionnels du secteur du bâtiment.</p> <p>Les projets de démonstration comme vitrine de processus pour l'industrie.</p>	<p>Un coût supplémentaire minimale est requis durant la phase de conception du bâtiment.</p> <p>Un coût de conseil supplémentaire est nécessaire au stade initial de la conception du projet. Ce coût supplémentaire sera compensé par les économies générées pendant la construction du projet et/ ou la phase opérationnelle.</p>	<p>Fournir des méthodologies et des outils informatiques pour offrir des bâtiments à haute performance.</p> <p>Répondre à la rareté des ressources naturelles en utilisant efficacement les matériaux et les composants de bâtiment, et les considérations liées à la fin de vie.</p> <p>Réduire les coûts globaux de cycle de vie et les coûts sociaux et environnementaux de la conception des bâtiments, de la construction, l'exploitation et de l'utilisation en fin de vie.</p> <p>Renforcer les relations entre les professionnels du bâtiment en favorisant le travail d'équipe et l'interaction positive.</p> <p>Fournir une plate-forme pour l'apprentissage croisé, le partage des connaissances et l'innovation/ créativité lors de la fourniture d'un environnement bâti durable.</p>
		<p>Prendre des décisions de conception basées sur l'analyse du cycle de vie, qui prend en compte l'énergie intégrée au système du bâtiment, les performances, le coût du cycle de vie, la durée de vie, l'utilisation en fin de vie, etc.</p>	<p>Collecte d'informations du cycle de vie des matériaux de construction, produits, composants, systèmes technologiques.</p> <p>Établir une banque de données complètes pour l'analyse du cycle de vie à travers des collaborations entre les régulateurs locaux de bâtiments, les instituts de recherche, les universités, les fournisseurs de produits de bâtiment et autres professionnels liés à la construction.</p>	<p>Un coût supplémentaire sera compensé par les économies générées pendant la construction du projet et/ ou la phase opérationnelle.</p>	<p>Renforcer les relations entre les professionnels du bâtiment en favorisant le travail d'équipe et l'interaction positive.</p> <p>Fournir une plate-forme pour l'apprentissage croisé, le partage des connaissances et l'innovation/ créativité lors de la fourniture d'un environnement bâti durable.</p>
Outils de conception assistée par ordinateur		<p>Utiliser des programmes de simulation informatique comme outils d'aide à la conception pour la prise de décision plutôt qu'outil de simple vérification de l'objectif de la conception.</p>	<p>Former la main-d'œuvre locale de spécialistes de l'énergie, les experts en analyse du cycle de vie, et les experts en outils de simulation informatique....</p>		

Enveloppe du bâtiment d'isolation thermique					
Technologies et pratiques associées	Applicabilité contextuelle	Prérequis critiques de l'application	Faisabilité de la mise œuvre	Besoins financiers	Contribution à la Triple Bottom Line
Isolation en laine minérale	Toutes les régions	<p>Être flexible pour la construction hors site et in situ.</p> <p>Nécessiter une bonne finition et une pellicule métallique pour empêcher le produit d'être exposé à la vapeur et à l'eau.</p> <p>Nécessiter un bon travail (une bonne finition) pour éviter les fuites d'air.</p>	<p>Disponibilité d'incitation et de politiques de soutien.</p>	<p>Des coûts d'investissement initiaux sont nécessaires pour les produits et leur installation.</p>	<p>Fournir un confort thermique pour les occupants du bâtiment.</p> <p>Contribuer à un environnement de vie sain et une meilleure productivité dans les espaces de travail.</p> <p>Réduire la demande d'énergie pour le refroidissement (climatisation) et le chauffage.</p> <p>Création d'opportunités d'affaires et d'emplois.</p>
Isolation en plastique alvéolaire		<p>Disponibilité en forme de feuille rigide ou de mousse de pulvérisation.</p> <p>La mousse de pulvérisation doit être appliquée après l'installation des services d'électricité et de plomberie, de sorte que tous les espaces soient bien scellés.</p>	<p>Exécution en établissant des codes qui garantissent des niveaux d'isolation minimales acceptables pour l'enveloppe du bâtiment.</p>	<p>Aucun coût d'entretien n'est requis pour les produits en plastique alvéolaire.</p>	
Isolation dérivée de plantes /animaux		<p>Nécessiter une bonne finition et une pellicule métallique pour empêcher le produit d'être exposé à la vapeur et à l'eau.</p> <p>Nécessiter un bon travail (une bonne finition) pour éviter les fuites d'air.</p>	<p>Éviter d'utiliser des produits d'isolation en plastique alvéolaire, qui sont associés à l'utilisation d'agents qui détruisent la couche d'ozone, dans sa production.</p>	<p>Le coût de remplacement est nécessaire pour les produits d'isolation en laine minérale et les produits d'isolation dérivée de plantes/ animaux.</p>	
Matériaux à changement de phase (MCP)		<p>Encapsuler les MCP avec de la paraffine, et mélanger avec du mortier pour application sur l'environnement du bâtiment.</p>	<p>Renforcement des capacités et des ateliers de formation pour les professionnels et la main-d'œuvre locaux de construction.</p>	<p>Coût dérisoire pour l'application de ballots de paille et des lames d'air dans le mur creux.</p>	
Utilisation de matières premières naturelles comme isolation thermique, par exemple, des ballots de paille, lame d'air dans le mur creux, etc.		<p>Maîtriser les matériaux dangereux ou inflammables (par exemple, des bottes de paille) en les revêtant avec des feuilles de métal.</p>			

Systèmes de la façade du bâtiment à haute performance					
Technologies et pratiques associées	Applicabilité contextuelle	Prérequis critiques de l'application	Faisabilité de la mise œuvre	Besoins financiers	Contribution à la Triple Bottom Line
Système de paroi solide à haute performance	Un large éventail de produits pour faire face aux différents contextes climatiques.	Concevoir un ratio mur à fenêtre élevé sur la façade orientée ouest.	Incitation et mise en vigueur par les codes du bâtiment qui garantissent des normes minimales pour les performances thermiques et les performances d'éclairage des systèmes de façades du bâtiment.		
Peinture froides	Régions chaudes.	Évitez les faibles ratios mur à fenêtre pour les bâtiments dans les régions climatiques chaudes.	Disponibilité des projets de démonstration.	Divers besoins financiers en fonction du choix des systèmes de façade.	
Systèmes de vitrage, y compris		Intégrer des dispositifs de protection solaire pour les parties vitrées exposées au soleil.	R & D afin de déterminer la disponibilité des matériaux et des types de systèmes de façade qui sont appropriés aux conditions climatiques locales.	Le coût des systèmes de parois solides est plus bas que celui des systèmes de vitrage (dans la plupart des cas).	Contribuer à réduire le gain et/ou la perte de chaleur et à réduire ainsi les charges de refroidissement et/ou de chauffage d'un bâtiment.
- Verre à faible émissivité		Fournir des fenêtres étanches, mais ouvrantes.		Établir un ratio mur à fenêtre approprié comme une mesure rentable.	Améliorer le confort thermique et offrir aux occupants la lumière du jour et la connectivité visuelle pour la vue externe.
- Double vitrage et triple vitrage rempli de gaz inerte, d'air sec, d'argon ou krypton, ou de sous vide	Un large éventail de produits pour faire face aux différents contextes climatiques.	Mettre en service de l'enveloppe du bâtiment.	Renforcement des capacités pour améliorer les connaissances des professionnels locaux et former une main-d'œuvre compétente pour la conception, l'installation, l'exploitation et la maintenance des systèmes de façade de bâtiment à haute performance.		
- Verre photochromique					
- Vitrage électrique					
Système de façade double-peau	Plus efficace pour les régions tempérées. Moins efficace dans les régions climatiques.	Facilite nighttime ventilation for application in hot climatic regions.			
Solution d'auto-nettoyage de façade (TiO₂)	Toutes les régions.	Apply to most building façade materials/ systems.		L'investissement initial pour appliquer le revêtement de TiO ₂ sur la surface externe des systèmes de façade permettra de réduire le coût d'entretien et de nettoyage lors de l'étape de fonctionnement.	Réduire la consommation d'eau pour les coûts de nettoyage et d'entretien des façades.

Technologies d'exploitation de la lumière naturelle					
Technologies et pratiques associées	Applicabilité contextuelle	Prérequis critiques de l'application	Faisabilité de la mise œuvre	Besoins financiers	Contribution à la Triple Bottom Line
Étagères lumineuses (statiques et mobiles, commandées mécaniquement ou par des capteurs)	Toutes les régions	<p>A Placer au dessus des systèmes de vitrage/fenêtres, au dessus du niveau de l'œil.</p> <p>Conception qui permettra à la lumière diffuse, non à la lumière du soleil, d'entrer à l'intérieur du bâtiment.</p> <p>A appliquer dans les espaces intérieurs des bâtiments, qui ont plus de tolérance pour un certain degré de fluctuation dans l'éclairage.</p> <p>A déployer en tandem avec un éclairage artificiel (contrôlé par des capteurs d'éclairage) pour des niveaux d'éclairage intérieur plus constants pour les espaces de bureau ou de travail/milieus d'apprentissage.</p> <p>Éviter de créer l'éblouissement pour les bâtiments voisins.</p> <p>Utiliser des outils de simulation informatique.</p>	<p>Mettre en place des règlements pertinents:</p> <p>Un espacement adéquat entre les bâtiments en fonction de la hauteur du bâtiment.</p> <p>La sécurité par rapport à l'installation.</p> <p>Prévenir l'éblouissement et la réflexion directe pour les bâtiments voisins.</p> <p>Disponibilité des lignes directrices sur la conception de l'éclairage naturel et d'une méthodologie pour la quantification de l'éclairage naturel.</p>	<p>Nécessitent des coûts d'investissement initiaux pour les produits et leur installation. Ces coûts varient selon les technologies, les configurations de conception, les types de matériaux, etc.</p> <p>Les étagères lumineuses extérieures statiques peuvent être considérées comme la technologie la plus compétitive en termes de coûts, en raison de la simplicité de la technique et leur utilisation combinée comme dispositifs de protection solaire.</p>	<p>Contribuer à l'économie d'énergie en réduisant les besoins d'éclairage artificiel et de chaleur générée par l'éclairage artificiel.</p>
Lucarnes (Puits de lumière)	Principalement les régions tempérées	<p>La conception doit atténuer: les problèmes de fuite d'eau de pluie, les problèmes de bruit causé par la pluie, et ceux de gains/perdes de chaleur.</p> <p>Ombrager les lucarnes avec d'autres composants d'un même bâtiment, pour réduire la chaleur, dans des régions climatiques chaudes.</p> <p>A appliquer dans les espaces intérieurs des bâtiments, qui ont plus de tolérance pour un certain degré de fluctuation dans l'éclairage.</p> <p>Utiliser des outils de simulation informatique.</p>	<p>R & D pour créer une banque de données sur l'éclairage solaire local, et les technologies appropriées à une application locale.</p> <p>Le renforcement des capacités dans les domaines de la conception et des outils d'analyse pour les concepteurs, des techniques d'installation pour la main-d'œuvre locale, et des procédures de maintenance pour les propriétaires de bâtiments et</p>	<p>Nécessitent des coûts de maintenance, à savoir, le nettoyage pour maintenir le niveau de performance optimisée.</p> <p>Les coûts supplémentaires devraient également être mis de côté pour le remplacement des composants des étagères lumineuses et des lucarnes mécaniques / commandées par des capteurs.</p>	<p>Créer des effets psychologiques positifs pour les occupants en les connectant avec l'éclairage extérieur dynamique.</p>
Conduits de lumière	Toutes les régions	<p>A appliquer dans les espaces intérieurs des bâtiments, qui ont plus de tolérance pour un certain degré de fluctuation dans l'éclairage.</p> <p>A déployer en tandem avec un éclairage artificiel (contrôlé par des capteurs d'éclairage) pour des niveaux d'éclairage intérieur plus constants pour les espaces de bureau ou de travail/milieus d'apprentissage.</p>	<p>le personnel de gestion des installations.</p>		

Systèmes de chauffage, ventilation et climatisation (CVC) à haute performance					
Technologies et pratiques associées	Applicabilité contextuelle	Prérequis critiques de l'application	Faisabilité de la mise œuvre	Besoins financiers	Contribution à la Triple Bottom Line
Systèmes de chauffage (chaudières, technologies de pompes à chaleur)	Régions tempérées	Nécessiter des efforts durant la phase de conception pour la coordination, la sélection et la conception à avoir pour un système CVC économe en énergie.			
Systèmes de refroidissement (refroidisseurs, condenseurs, échangeurs de chaleur, roues à dessiccation, systèmes automatiques de nettoyage des tubes de condenseur)	Régions chaudes	Évitez le surdimensionnement des composants de CVC, conduisant à un système inefficace. Planifier pour l'expansion plutôt que pour la taille.	Introduire la performance minimale dans les codes du bâtiment pour la conception et la mise en place des systèmes de CVC plus efficaces.	Les coûts d'investissement supplémentaires peuvent être minimales en évitant le surdimensionnement du système de CVC au stade initial de la conception. Des coûts supplémentaires sont requis pour des sous-systèmes de CVC additionnels afin d'améliorer les performances. Les exemples sont: l'installation des systèmes automatiques de nettoyage des tubes de condenseur, des systèmes de stockage de glace pour l'application de la charge maximale inversée, etc.	Contribuer au développement économique et environnemental par les économies d'énergie. Être catalyseur de prospérité pour les entreprises de services énergétiques. Contribuer à une meilleure vie intérieure et à un meilleur environnement de travail.
Systèmes de ventilation (système à volume d'air variable)	Diverses technologies applicables pour diverses régions	Divisez les espaces de bâtiments/pièces en zones, chacune équipée de son propre thermostat, clapet motorisé et d'un système de contrôle pour la contrôlabilité des zones et des utilisateurs. Situer les entrées d'air frais loin des zones d'échappement d'air, des sources (potentielles) de pollution et des odeurs. Changer la charge maximale dans les systèmes de refroidissement afin d'utiliser l'électricité hors charge maximale. Utiliser la ventilation par déplacement afin d'exploiter la flottabilité naturelle de l'air chaud.	Sensibiliser davantage, pour éviter le surdimensionnement des systèmes de CVC à travers des projets de démonstration éprouvés quant à l'économie d'énergie et les performances de confort thermique. Le renforcement des capacités et les ateliers de formation afin d'améliorer les connaissances et les compétences professionnelles.	Les coûts supplémentaires sont souvent récupérés à partir des économies d'énergie et des coûts de maintenance réduits.	Réduire le syndrome des bâtiments malsains et améliorer indirectement la productivité.

Systèmes d'éclairage efficaces					
Technologies et pratiques associées	Applicabilité contextuelle	Prérequis critiques de l'application	Faisabilité de la mise œuvre	Besoins financiers	Contribution à la Triple Bottom Line
Lampes économes en énergie (tubes T5/ T8, lampes fluorescentes compactes, lampes à décharge à haute intensité, LED)	Toutes les régions	Utilisez les systèmes d'éclairage efficaces en association avec la lumière naturelle, améliorés davantage par l'utilisation des capteurs d'éclairage.	Réduire les tarifs douaniers à l'importation des composants d'éclairage économes en énergie.	Investissement initial nécessaire pour acheter et installer des systèmes d'éclairage économes en énergie. Les coûts sont normalement remboursés dans un court laps de temps, par exemple, environ un an, grâce à des économies sur les factures d'électricité.	Contribuer au développement économique et environnemental à travers les économies d'énergie. Consommer moins de ressources, grâce à une longue durée de vie. Améliorer la santé et les conditions de vie pour les occupants.
Ballasts		Diviser les espaces/pièces du bâtiment en zones - nécessitant différents besoins d'éclairage - qui peuvent ensuite être contrôlés indépendamment.	Lancer des programmes d'éclairage à grand rendement énergétique, qui fournissent ou subventionnent l'éclairage économe en énergie.		
Luminaires		Autoriser les utilisateurs à contrôler les besoins en éclairage. Installez des détecteurs de mouvement pour éteindre automatiquement la lumière, quand il n'y a personne dans la pièce. Installer un système de circuit à double allumage, pour permettre à la lumière de s'éteindre en présence d'un environnement bien éclairé, n'est pas primordial. Assurer l'élimination sécuritaire des lampes LFC à la fin de leur vie, afin d'éliminer en toute sécurité le mercure contenu dans les lampes.	Les décisions peuvent être prises par les propriétaires/ occupants des bâtiments individuels. Les faibles coûts d'investissement non récurrents peuvent être remboursés par les économies sur les factures d'électricité. Aider les fabricants locaux à produire des composants et des systèmes d'éclairage économes en énergie. Éduquer le public et mener des campagnes de sensibilisation.		

Technologies d'économie d'eau						
Technologies et pratiques associées	Applicabilité contextuelle	Prérequis critiques de l'application	Faisabilité de la mise œuvre	Besoins financiers	Contribution à la Triple Bottom Line	
Informations sur le comptage et la consommation de l'eau	Toutes les régions	<p>Installer des compteurs à des endroits qui sont faciles d'accès pour la lecture.</p> <p>Protéger les compteurs contre les intempéries.</p> <p>Installer des sous-compteurs séparés pour les différentes installations, ou les principales utilisations (par exemple, l'irrigation des terrains, la tour de refroidissement, etc.) dans les bâtiments de grande envergure.</p> <p>Lier les données de tous les sous-compteurs au système de gestion du bâtiment.</p>	<p>Disponibilité de la réglementation sur les compteurs d'eau.</p> <p>Les projets de démonstration avec des données éprouvées liées à l'économie d'eau pour les systèmes de comptage complexes dans les bâtiments de grande envergure.</p>	<p>Divers systèmes nécessitent des investissements initiaux différents, qui, en général, sont faibles.</p> <p>Le retour sur investissement varie en fonction des systèmes spécifiques adoptés et des contextes. Par exemple, les ROI pour les systèmes complexes de récupération des eaux de pluie à partir des grands bâtiments dans un cadre urbain à haute densité, ne sont pas aussi attractifs que ceux des simples systèmes toit-gouttière--réservoir des bâtiments plus petits dans les milieux ruraux.</p>	<p>Contribuer à l'environnement par la conservation des ressources en eau et par la réduction indirecte de la consommation d'énergie.</p> <p>Capacité à détecter les fuites d'eau.</p>	
Systèmes de récupération de l'eau pluviale		<p>Utiliser des matériaux résistants à la corrosion pour les composants.</p> <p>Dimensionner le réservoir de stockage basé sur la surface du toit de captage de l'eau et les données pluviométriques locales.</p> <p>Utilisez l'eau de pluie recueillie pour un usage non-potable.</p> <p>Nettoyage régulier contre les contaminants, feuilles sèches, etc.</p>	<p>Disponibilité de lignes directrices pour la conception et l'installation des systèmes de récupération des eaux de pluie.</p> <p>Disponibilité de lignes directrices pour le traitement préliminaire de l'eau et/ou de purification de l'eau potable (applicables pour les régions ayant des ressources limitées en eau et un approvisionnement communal en eau limité.)</p>		<p>Réduire la pression sur le système municipal des eaux pluviales.</p> <p>Réduire le ruissellement des eaux pluviales et diminuer le déversement maximal aux systèmes de drainage urbain.</p>	
Systèmes de réutilisation des eaux grises		<p>Séparer les systèmes de canalisation des eaux grises de ceux de la canalisation des eaux noires.</p> <p>Désinfecter l'eau stockée pour éviter la contamination croisée et la croissance de bactéries/champignons.</p> <p>Utilisez l'eau grise stockée, dès que possible.</p> <p>Nécessiter un entretien régulier et vérifier les fuites, remplacer le milieu de traitement et empêcher la reproduction des moustiques et la croissance des bactéries.</p>	<p>Disponibilité de lignes directrices et de règlements relatifs à la santé environnementale: la prévention contre la reproduction des moustiques dans les eaux de pluie/les réservoirs de stockage des eaux grises/les conteneurs.</p>		<p>Un budget devrait être consacré pour l'entretien, par exemple, le nettoyage, la réparation des systèmes et le remplacement des composants.</p>	<p>Engager les utilisateurs finaux à économiser l'eau, et inculquer à la société des habitudes et des pratiques positives respectueuses de l'environnement.</p>
Systèmes hydropneumatiques d'approvisionnement en eau		<p>Nécessiter un espace à un niveau élevé (toit) pour le réservoir d'eau à air comprimé.</p> <p>Nécessiter des capteurs pour surveiller le niveau de l'eau et de la pression dans le réservoir.</p> <p>Lier les données au système central de gestion du bâtiment.</p>	<p>Le renforcement des capacités pour établir un pool de techniciens qualifiés locaux/métiers pour concevoir, installer et entretenir les systèmes.</p>			
Dispositifs d'économie d'eau (technologies d'aération, réservoir d'eau à double chasse, lave-vaisselle économique en eau, lave-linge, systèmes d'irrigation goutte à goutte)		<p>Ajouter des aérateurs aux robinets d'eau existants ou aux pommeaux de douche.</p> <p>Équiper les bâtiments avec des toilettes à double chasse et des appareils économiques en eau.</p> <p>Programmer les systèmes d'irrigation goutte à goutte aux exigences météorologiques locales.</p> <p>Identifier les opportunités pour les zones (des plantes ayant des besoins différents en eau) pour les commandes de zone.</p>	<p>Sensibilisation des occupants des bâtiments, des professionnels, des constructeurs et du grand public, par les gouvernements locaux et/ou les ONG.</p> <p>Introduire le système d'étiquetage pour les appareils économiques en eau.</p>			

Séquestration de carbone et les matériaux et produits de construction pauvres en carbone					
Technologies et pratiques associées	Applicabilité contextuelle	Prérequis critiques de l'application	Faisabilité de la mise œuvre	Besoins financiers	Contribution à la Triple Bottom Line
Produits et matériaux de bâtiment puits de carbone (produits ligneux récoltés, produits en bambou)	Toutes les régions	Améliorer les produits grâce au laminage et/ou traitement chimique pour réduire la vulnérabilité à l'infestation des termites et pour renforcer leur résistance à l'eau et à l'humidité.	La sensibilisation à travers des campagnes d'éducation du public. Établir des systèmes d'étiquetage vert/d'étiquetage carbone par des organismes gouvernementaux ou des ONG de renom.	Aucun investissement supplémentaire n'est nécessaire, vu que les matériaux et produits sont substitués par ceux classiques à forte intensité de carbone. Économies découlant de la réduction des coûts de transport, en utilisant des matériaux disponibles localement.	Remplacer les matériaux traditionnels à forte intensité de carbone et réduire leur demande sur le marché. Promouvoir l'utilisation des matériaux disponibles localement et soutenir ainsi les industries locales portant sur les opportunités d'emploi et la croissance économique.
Produits et matériaux de bâtiment pauvres en carbone (briques à faibles émissions de carbone, béton vert, tuiles vertes, métaux recyclés, matériaux et produits disponibles localement)		Réduire ou éviter le gaspillage pendant le processus et l'application.	R & D pour identifier et développer des nouveaux matériaux et produits et leur application innovante.		

Rendre les bâtiments plus verts et créer des systèmes de verdure intégrés au bâtiment					
Technologies et pratiques associées	Applicabilité contextuelle	Prérequis critiques de l'application	Faisabilité de la mise œuvre	Besoins financiers	Contribution à la Triple Bottom Line
Jardin et paysage	Applicabilité contextuelle	Maximiser les tiges de fleurs où la terre est disponible.		Absence de coût supplémentaire, parce qu'il s'agit d'une pratique commune.	Réduire les gains de chaleur pour les bâtiments dans les régions climatiques chaudes. Réduire l'effet d'îlot de chaleur dans les zones urbanisées.
Toits verts			Des incitations offertes par le gouvernement local, tels que les systèmes de partage des coûts.		Absorber les particules en suspension et améliorer la qualité de l'air ambiant dans les milieux urbains. Entretien et améliorer la biodiversité urbaine. Réduire les
Jardins sur toits, terrasses en plein ciel et jardins de balcon		Concevoir une structure de bâtiment pour supporter les charges mortes supplémentaires.	Le renforcement des capacités, en particulier dans les domaines suivants:		ruissellements de l'eau de pluie et les pics de l'eau de pluie. Absorber le dioxyde de carbone pour la photosynthèse. Créer de «la valeur biochimique» pour les occupants des bâtiments et les citoyens.
Façades/murs vert(e)s	Toutes les régions, à l'exception des régions extrêmement tempérées, ou les régions climatiques chaudes et arides. Plus appropriés dans les zones urbaines densément peuplées.	Fournir de bons systèmes et mesures d'étanchéité à l'eau pour prévenir des dommages structurels causés par la pénétration des racines ou des fuites d'eau. Contrecarrer le risque des branches de plantes ou d'arbres qui tombent des bâtiments. Concevoir, installer et maintenir des systèmes d'irrigation, de stockage de l'eau et de drainage appropriés aux conditions climatiques locales. Sélectionnez des substrats et des médias légers pour que les plantes y poussent.	- la planification, la conception des compétences et la sélection des plantes. - La technique d'installation, y compris les systèmes d'étanchéité et d'irrigation. - Les procédures d'entretien pour les propriétaires d'immeubles et le personnel de gestion des installations. - La fabrication et la fourniture des composants légers.	Coût d'investissement initial supplémentaire pour les produits, leur installation et les éléments structurels forts. Ces coûts varient selon les systèmes et les régions. Les coûts de maintenance continue sont nécessaires.	Fournir d'autres espaces publics pour les activités de loisirs et renforcer les liens communautaires dans les milieux urbains à forte densité. Réduire la charge de refroidissement du bâtiment, conduisant à réduire la consommation d'énergie et donc à des économies de coûts pour les propriétaires/locataires. Améliorer la commercialisation et la valeur des bâtiments. Réduire la fluctuation de la température diurne des toits et façades des bâtiments, conduisant à une réduction dans la contraction et l'expansion des matériaux, et prolonger ainsi la durée de vie des toits et façades des bâtiments. Favoriser la prospérité de nouvelles chaînes d'approvisionnement et créer de nouveaux emplois.

Technologies solaires					
Technologies et pratiques associées	Applicabilité contextuelle	Prérequis critiques de l'application	Faisabilité de la mise œuvre	Besoins financiers	Contribution à la Triple Bottom Line
Chauffe-eau solaire thermique	La plupart des régions tempérées et chaudes	Conception de structure et de toit de bâtiment pour répondre à la charge morte supplémentaire du système.	Nécessiter de forts soutiens institutionnels, en particulier les politiques d'incitation et les mécanismes financiers de soutien, y compris:		
Combiner le chauffage solaire de l'eau et le chauffage de l'espace (système combiné/ système combi)	Régions tempérées	Conception qui facilite la maintenance. Nécessiter une stabilité et une pression suffisante de l'approvisionnement en eau en continu pour le fonctionnement automatique des chauffe-eau solaires thermiques.	<ul style="list-style-type: none"> - La réduction/suppression des subventions pour l'approvisionnement en électricité à partir des combustibles fossiles. - La réduction/suppression des droits d'importation sur les composants des technologies solaires. - L'identification claire des plans d'expansion du réseau électrique (pour les zones rurales et éloignées) et la communication de ces plans au public. Cela est nécessaire pour le calcul des périodes de récupération utilisées dans les processus de prise de décision d'investir et de mettre en œuvre les technologies solaires hors réseau, par exemple, les installations solaires domestiques et les stations de recharge solaire. 		
Combiner le système de chauffage solaire et de refroidissement /climatisation solaire	Régions climatiques chaudes			Exigence des coûts d'investissement des produits et de leur installation, et les coûts de maintenance.	Considérées comme des technologies prometteuses et importantes pour remplacer l'électricité à partir des combustibles fossiles.
Photovoltaïque intégré au bâtiment (PVIB)	Toutes les régions				Contribuer à améliorer la qualité de vie et à offrir un environnement sain.
Installation solaire domestique				Les technologies photovoltaïques exigent plus de capital à investir par rapport aux technologies solaires thermiques.	Apporter des avantages directs aux propriétaires de maisons et aux communautés (en milieu rural éloigné).
Stations de recharge solaires	Les zones rurales éloignées de toutes les régions climatiques.	Placer les panneaux photovoltaïques de façon à les exposer directement aux rayons du soleil. Monter les panneaux photovoltaïques pour être directement en face du soleil. Nécessiter un entretien périodique pour nettoyer la surface contre la poussière et/ou les excréments d'oiseaux accumulés, etc.	<ul style="list-style-type: none"> - La mise en place de réseaux intelligents et l'encouragement des tarifs de rachat en tant que plateforme pour promouvoir l'utilisation des technologies photovoltaïques liées au réseau. <p>R & D dans les domaines prioritaires, y compris:</p> <ul style="list-style-type: none"> - les données locales sur le rayonnement solaire, l'intensité et la durée/ heures de la lumière du soleil pour diverses saisons. - les technologies et les produits solaires efficaces, rentables et les plus appropriés localement pour le développement à grande échelle. - les modèles d'activités et les mécanismes financiers viables pour un retour sur investissement raisonnable. - Le renforcement des capacités dans le domaine des connaissances techniques, des techniques de conception pour les professionnels, des compétences d'installation pour les techniciens, et l'inspection et la maintenance de routine pour les propriétaires d'immeubles et le personnel de gestion des installations. 	Les coûts de composants varient, en fonction des technologies et selon si les produits sont fabriqués localement ou importés.	Création d'opportunités d'affaires pour la communauté rurale éloignée avec des systèmes de recharge solaire.

Éoliennes intégrées aux bâtiments						
Technologies et pratiques associées	Applicabilité contextuelle	Prérequis critiques de l'application	Faisabilité de la mise œuvre	Besoins financiers	Contribution à la Triple Bottom Line	
Les éoliennes à axe horizontal	Toutes les régions, en particulier les zones côtières venteuses.	Recueillir des données sur le vent dans le voisinage immédiat du bâtiment ou du site de l'installation.	Construire une cartographie locale du vent pour comprendre la vitesse du vent, la fréquence et les directions à des hauteurs, temps et paramètres différents.	Des coûts d'investissement initiaux pour les études de faisabilité et la conception du système, les éoliennes, leur installation, et pour une résistance supplémentaire de la structure du bâtiment.	Contribuer à réduire la nécessité pour l'électricité à partir des combustibles fossiles.	
Les éoliennes à axe vertical		Déterminer les types d'éoliennes appropriées et les lieux d'installation, afin de maximiser l'énergie potentielle produite par les éoliennes, en faisant correspondre les conditions de vent ambiantes avec la vitesse de démarrage, la vitesse nominale et la vitesse d'arrêt d'une éolienne.	Mettre en place des politiques de soutien et des mécanismes financiers pour rendre les éoliennes intégrées aux bâtiments commercialement viables: <ul style="list-style-type: none"> - Réduction/suppression des subventions pour l'approvisionnement en électricité à partir de combustibles fossiles. - Réduction/suppression des droits d'importation sur les composants des éoliennes. - Identification claire des plans d'expansion du réseau électrique (pour les zones rurales et éloignées) et la communication de ces plans au public. - Mise en place des réseaux intelligents et encouragement des tarifs de rachat en tant que plateforme pour promouvoir l'utilisation des technologies d'éoliennes intégrées aux bâtiments liées au réseau. 			Opportunités pour les propriétaires de bâtiments de vendre l'électricité excédentaire au réseau électrique.
Systèmes éoliens domestiques		Assurez que la structure du bâtiment est assez forte pour retenir les charges mortes supplémentaires et les charges de vibration issues du fonctionnement de l'éolienne.	Établir des lignes directrices et des normes pour réglementer l'installation, afin de faire face aux questions de: <ul style="list-style-type: none"> - Sécurité structurelle - Contrôle de la pollution sonore - Raccordement au réseau - Lignes directrices de la conception urbaine. 			Les composantes du coût du système des éoliennes intégrées aux bâtiments varient considérablement, selon le type, la capacité nominale et la disponibilité locale.
		Adopter la technologie absorbante de vibration pour éviter d'endommager la structure du bâtiment et pour minimiser le bruit à l'intérieur du bâtiment.	Renforcement des capacités: <ul style="list-style-type: none"> - Les connaissances techniques pour calculer, simuler et sélectionnez les types appropriés d'éoliennes à des endroits appropriés. - Les compétences et les techniques de l'installation pour la main-d'œuvre locale. - Les procédures d'entretien pour les propriétaires de bâtiments et le personnel de gestion des installations. - Fabrication de micro-éoliennes et de composants connexes, pour le développement à long terme. 	Un budget pour la maintenance doit être consacré pour le remplacement des pièces.	Un mécanisme pour faire prospérer l'économie verte locale	
		Mettre en place des mesures visant à protéger les éoliennes contre l'endommagement par la foudre.			Les systèmes éoliens domestiques contribuent au développement social par l'amélioration de la qualité de la vie des villageois dans les îles éloignées et les zones rurales.	
		Planifier l'accessibilité pour la maintenance et les services.				
		Applicable aux milieux connectés au réseau ou hors réseau.				

Gestion de l'énergie et amélioration de la performance					
Technologies et pratiques associées	Applicabilité contextuelle	Prérequis critiques de l'application	Faisabilité de la mise œuvre	Besoins financiers	Contribution à la Triple Bottom Line
Commissionnement		<p>Vérifier la performance par rapport aux objectifs fixés au stade initial de la conception du bâtiment, s'assurer que les installations sont soumises à un contrôle sur place, que tous les systèmes techniques sont testés et que leurs défauts sont corrigés.</p> <p>Embaucher un agent de commissionnement indépendant pendant le transfert des bâtiments complexes et de grande envergure afin qu'il aide à éliminer les déficiences cachées.</p> <p>Fournir un mode d'emploi du bâtiment, pour expliquer les procédures opérationnelles et les fonctions des systèmes techniques complexes.</p>	<p>Accord entre les promoteurs immobiliers et les constructeurs/ entrepreneurs.</p> <p>Fournir des soutiens institutionnels, tels que les exigences juridiques pour mandater le commissionnement des contrats de certains types de bâtiments complexes.</p> <p>La mise en service des technologies/ systèmes de pointe nécessite une formation/ le personnel de gestion des installations et l'éducation des utilisateurs potentiels.</p>	<p>Promoteur immobilier afin d'investir un coût ponctuel pour le commissionnement du bâtiment.</p>	<p>Assurer une bonne performance des systèmes techniques, et l'amélioration de leurs performances de cycle de vie.</p> <p>Améliorer la santé de l'environnement et le niveau de confort.</p> <p>Réduire les coûts de formation et de familiarisation pour le personnel de gestion des installations.</p> <p>Économiser sur les factures de services publics, et améliorer la productivité.</p>
Système de gestion de l'énergie du bâtiment	<p>Toutes les régions climatiques.</p> <p>Les plus appropriées pour les bâtiments commerciaux et les complexes de grande envergure, à usage mixte.</p>	<p>Plus bénéfique lorsqu'il est examiné et incorporé lors de la phase de conception du bâtiment.</p> <p>Nécessiter du personnel qualifié pour faire fonctionner et surveiller les données de SGEB.</p> <p>Mettre en place une interface d'utilisateur et des fonctions de correction manuelle pour une éventuelle intervention en cas de panne du système et/ ou des situations d'urgence.</p>	<p>Renforcement des capacités pour former des techniciens hautement qualifiés afin d'installer et d'utiliser le système.</p>	<p>Nécessiter des frais supplémentaires pour l'installation, l'exploitation et la maintenance du système.</p>	<p>L'optimisation de la consommation d'énergie pour créer des économies d'énergie.</p> <p>Offrir un préavis, détecter les problèmes et faciliter le diagnostic des problèmes.</p>
Contrat de performance énergétique (CPE)		<p>Nécessiter un fort soutien des propriétaires de bâtiments.</p> <p>Les sociétés de services énergétiques pour définir les lignes de base claires - la consommation énergétique existante, les modèles et les tarifs, les stocks d'équipement, l'occupation, les mesures d'économie d'énergie existantes, etc. - basées sur les mesures ponctuelles, le comptage, les inspections et les enquêtes.</p> <p>Répartir les interventions technologiques, mesurées par rapport à des lignes de base pour le calcul des économies potentielles de la consommation d'énergie en termes monétaires et la période de récupération.</p> <p>Mise en place des mesures spécifiques du projet et le plan de vérification, le calendrier d'entretien, les dépenses et le remboursement.</p> <p>Effectuer la vérification post-installation, la vérification périodique de la performance, les évaluations opérationnelles et le peaufinage.</p>	<p>Disponibilité des soutiens institutionnels, y compris:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Prix de l'électricité non subventionné. - La disponibilité de tarif de rachat. - L'aide financière d'organisations internationales et locales lors des phases de démarrage initiales. 	<p>Les propriétaires des bâtiments n'ont pas de coût supplémentaire pour le contrat de performance énergétique, sauf pour éprouver quelques perturbations pendant l'installation des technologies d'intervention par les sociétés de services énergétiques.</p>	<p>Fournir des opportunités d'améliorer la performance énergétique des grands bâtiments existants.</p> <p>Fournir des opportunités pour les propriétaires de bâtiments existants d'améliorer l'ancien équipement et les systèmes.</p> <p>Être un mécanisme de financement vert à petite échelle qui ouvre le goulot d'étranglement financier de la mise en œuvre à grande échelle des technologies énergétiques renouvelables et à efficacité énergétique.</p>

Catalyseurs de changement de comportements					
Technologies et pratiques associées	Applicabilité contextuelle	Prérequis critiques de l'application	Faisabilité de la mise œuvre	Besoins financiers	Contribution à la Triple Bottom Line
Appareils économes en énergie	Toutes les régions et tous les contextes.	Ne nécessitent pas d'exigences techniques particulières spatiales ou supplémentaires pour son application, vu que les produits ne sont généralement pas différents en termes de la taille et de la forme, par rapport aux produits conventionnels.	Disponibilité des soutiens institutionnels, tels que les systèmes d'étiquetage énergétique du produit.	Les appareils économes en énergie, en général, coûtent plus cher que les produits classiques. Cependant, le coût supplémentaire peut être récupéré par les économies d'énergie pendant le fonctionnement.	
Réseau domestique	Pour une utilisation domestique dans toutes les régions.	Brancher les appareils et systèmes électriques domestiques (par exemple, CVC, l'éclairage, les réfrigérateurs, les machines à laver, les chauffe-eau, les téléviseurs, les ordinateurs, etc.) aux compteurs intelligents.	Exiger plus de R & D et de tests. Établir un ensemble commun de normes et de protocoles pour l'intégration compatible de divers produits du réseau domestique et les peaufiner pour qu'ils soient plus attrayants et conviviaux aux utilisateurs finaux. Mettre en place des projets de démonstration, des showrooms pour sensibiliser au stade initial de la pénétration du marché. Plus de R & D pour faire baisser le coût. Disponibilité d'une forme simple de tarification dynamique de l'électricité.	Investissement initial pour acheter et installer les équipements connexes. Coût opérationnel additionnel pour l'énergie utilisée dans l'unité d'affichage domestique, et l'amélioration du système/logiciel.	Contribuer directement à des économies d'énergie domestiques. Être un catalyseur pour le changement de comportement vers un mode de vie plus durable. Contribuer à mettre en œuvre la tarification dynamique de l'électricité, qui à son tour contribue à réduire la demande maximale, afin d'atténuer les pénuries d'énergie et le besoin d'expansion des infrastructures d'énergie.
Compteurs prépayés	Appropriés le plus pour les pays les moins développés.	Le système de vente et/ou de crédit fixé par les fournisseurs de services publics. Protéger les compteurs contre les intempéries, en particulier la pluie. Placer le compteur de façon qu'il n'entre pas en contact potentiel avec des sources d'eau ou de chaleur. Placer le compteur de sorte qu'il puisse être facilement utilisé et entretenu.	Bonne collaboration et communication entre les opérateurs de centrales, les fournisseurs de services publics, le gouvernement local et la communauté locale. Les systèmes de vente en ligne ne peuvent être implémentés que dans les communautés où la majorité des ménages ont accès à Internet.	Investissement financier de la part d'un fournisseur de services publics afin d'établir l'infrastructure de distribution, installer des distributeurs automatiques et faire fonctionner le système. Un petit investissement initial est souvent requis pour que les consommateurs achètent et installent des compteurs prépayés dans les maisons.	

Services énergétiques communautaires					
Technologies et pratiques associées	Applicabilité contextuelle	Prérequis critiques de l'application	Faisabilité de la mise œuvre	Besoins financiers	Contribution à la Triple Bottom Line
Chauffage/ climatisation centralisé(e)	Toutes les régions, et plus réalisable dans le milieu urbain à forte densité.	Mettre en place des usines centralisées pour produire le chauffage/ refroidissement par le biais des chaudières/ refroidisseurs, récupérer la chaleur résiduelle par le biais de coproducteur, ou puiser dans la chaleur résiduelle des processus industriels ou à proximité des centrales.	Mise en place des mécanismes d'investissement et de financement appropriés.	Nécessite que l'investisseur et le promoteur principal investissent un capital initial pour mettre en place les systèmes, les coûts opérationnels et les coûts de maintenance.	Être plus efficace thermiquement en milieu urbain dense, par rapport à celui de nombreux petits systèmes isolés dans les bâtiments individuels.
		Déployer des sources d'énergie renouvelables et propres (si possible) pour la conversion de l'énergie thermique.	R & D pour identifier les sources d'énergie, les systèmes appropriés, les technologies et la capacité du système à servir les communautés.		Optimisation du fonctionnement de l'usine centralisée en termes d'efficacité énergétique, de déploiement de l'énergie renouvelable et du personnel de maintenance.
Production combinée de chaleur et d'électricité (PCCE)	Toutes les régions, et plus réalisable dans un milieu rural à faible densité, où l'accessibilité aux sources d'énergies renouvelables et les sources d'énergie alternatives est facile.	Utiliser les technologies de conversion du chauffage-refroidissement pour répondre aux différentes exigences thermiques d'un an.	Mener des consultations auprès des utilisateurs pour acquérir une compréhension, des attentes et une coopération communes, lors de l'étude de faisabilité, la conception, la construction, et les étapes de fonctionnement.	Nécessite que l'investisseur et le promoteur principal investissent un capital initial pour mettre en place les systèmes, les coûts opérationnels et les coûts de maintenance.	Efficace dans la production d'électricité avec l'utilisation du sous-produit à savoir; la chaleur.
		Configurer un réseau de distribution de tuyaux et de pompes métalliques calorifugés pour transférer l'énergie thermique de l'usine centralisée vers les bâtiments individuels au sein d'une communauté.	Le renforcement des capacités pour former la main-d'œuvre locale avec des compétences techniques pour installer, surveiller, identifier les défauts et réparer les systèmes.		Créer des opportunités pour exploiter les sources d'énergie renouvelables ou moins polluantes.
		Mettre en place des systèmes de détection de fuites et de protection contre la corrosion pour la tuyauterie souterraine.			La combinaison d'un digesteur anaérobie de biogaz et de la coproduction de chaleur et d'électricité offre de meilleures solutions d'assainissement pour les communautés rurales, réduit les odeurs et les mouches, empêche la pollution de l'eau causée par la décharge des déchets, et améliore la santé de l'environnement.
		Utiliser des pompes à vitesse variable avec un faible bruit généré afin d'économiser l'énergie de pompage et pour prévenir la transmission du bruit à travers le milieu thermique dans les bâtiments.			Créer un sens de communauté et renforcer la cohésion sociale dans une communauté.
		Installer dans les bâtiments individuels: un échangeur de chaleur, de la tuyauterie, des soupapes et un système de contrôle, par exemple, les thermostats et les compteurs.			Offrir aux propriétaires de bâtiments:
		Exiger l'entretien périodique, y compris l'inspection de fuite, le suivi et la communication de la performance du système.			<ul style="list-style-type: none"> - des économies sur le coût du capital pour l'installation de chaudières /refroidisseurs, et ainsi économiser en termes d'espaces de bâtiments. - des économies sur les dépenses en capital pour améliorer les chaudières/ refroidisseurs. - la flexibilité, la capacité de surveillance et la contrôlabilité de l'utilisation de l'énergie thermique.

Conception et pratiques de la communauté durable					
Technologies et pratiques associées	Applicabilité contextuelle	Prérequis critiques de l'application	Faisabilité de la mise œuvre	Besoins financiers	Contribution à la Triple Bottom Line
Conception et planification physique de la communauté durable		Planification de l'aménagement des bâtiments d'une communauté exposés au soleil local et aux caractéristiques des vents saisonniers, récoltant les eaux de pluie et améliorant l'écologie du paysage local.	<p>Impliquer autant d'intervenants pour évaluer l'état des conditions existantes.</p> <p>Désigner un/des individu(s) comme champion(s) des programmes de la communauté durable.</p> <p>Identifier, en collaboration avec les parties prenantes, les principaux besoins et objectifs, par le biais d'un consensus.</p> <p>Création d'une vision et d'une feuille de route viable.</p>	<p>Le soutien financier est requis pour l'étape initiale du lancement, généralement liée à la planification et la mise en œuvre des activités.</p>	<p>Planifier en matière de conditions climatiques locales, y compris le soleil, le vent et la pluie.</p> <p>Créer un microclimat confortable pour les espaces collectifs et les bâtiments individuels dans une communauté.</p> <p>Être économique en eau.</p> <p>Promouvoir la végétation indigène, et entretenir/favoriser la biodiversité.</p>
Pratiques de la communauté durable (construire un sens de communauté, améliorer la qualité de vie, développer des compétences compatibles avec l'économie verte)	Diverses stratégies de planification et de pratiques applicables aux différents contextes des communautés	<p>Discuter avec les membres de la communauté pour comprendre les modes de vie existants, les paramètres de l'activité quotidienne et leurs souhaits pour améliorer l'expérience de vie dans la communauté.</p> <p>Encourager tous les membres de la communauté à participer à toutes les activités communales.</p> <p>Autonomiser les membres dans tous les processus de prise de décision et inculquer un sentiment d'appartenance et de fierté.</p>	<p>Développer un ensemble d'indicateurs pour évaluer et suivre les progrès.</p> <p>Identifier et communiquer avec les partenaires de soutien.</p> <p>Commencer par les activités les plus réalisables et les plus économiques.</p> <p>Contrôler et améliorer les activités.</p> <p>Continuer à demander les commentaires /retours d'information de tous les intervenants et partenaires.</p>	<p>Les communautés à faible revenu ont souvent besoin de soutiens financiers par des organismes internationaux et/ou du gouvernement local.</p> <p>Les activités communautaires réussies se trouvent souvent un flux de revenus durable généré par le retour sur investissement.</p>	<p>Réduire et éliminer la pauvreté pour les communautés à faible revenu, tout en améliorant leurs compétences pour l'employabilité dans le secteur de l'économie verte.</p> <p>Faciliter une économie verte locale durable, par exemple, à travers l'écotourisme, la production alimentaire locale, etc.</p> <p>Générer des liens communautaires et le sens de la propriété.</p> <p>Réduire la criminalité.</p> <p>Améliorer la qualité de la vie.</p>

Annexe II: Glossaire

Analyse de la valeur: se réfère aux exercices de réduction de coûts au cours de l'étape ultérieure du développement de la conception.

Bâtiments à faibles émissions de carbone/zéro émission: atteignent leur objectif commun qui vise à réduire les émissions de GES dans l'atmosphère par l'intégration des techniques, des stratégies et des technologies disponibles de conception économe en énergie, et/ou par l'utilisation de l'énergie renouvelable pour leurs utilisations.

Bâtiments résidentiels et commerciaux: alors que la définition des bâtiments résidentiels est simple et comprend les maisons individuelles, les maisons jumelées, les maisons en rangée, et les appartements; les bâtiments commerciaux se réfèrent, quant à eux, à tous les bâtiments résidentiels non-domestiques tels que le transport, le tertiaire, le bureau, le municipal, etc.

Blocs de terre comprimée: matériau de bâtiment traditionnel provenant d'Inde, d'Afrique de l'Est et d'Amérique du Sud qui redevient populaire. Les blocs de terre comprimée sont faits d'un mélange à moitié-sec d'argile et de sable et sont désormais produits grâce à des machines mécanisées qui compriment les blocs avec une force hydraulique.

Chauffage, ventilation et climatisation (CVC): système mécanique pour fournir de l'air frais/froid et pour conditionner la température de l'air intérieur et l'humidité d'un bâtiment. Le système est généralement constitué de composants visant à alimenter, filtrer, chauffer, refroidir et distribuer l'air conditionné dans les espaces intérieurs ciblés.

Chauffage/refroidissement centralisé: se réfère à un système combiné de chauffage/refroidissement à un endroit centralisé, et à la distribution de chauffage/refroidissement dans les bâtiments d'une communauté définie, à travers un réseau de tuyauterie, pour le chauffage de l'espace et de l'eau ou le refroidissement (climatisation) de l'espace. L'énergie nécessaire pour le chauffage/refroidissement peut être exploitée à partir de la chaleur résiduelle provenant de processus industriels de proximité (si disponibles) et/ou de sources renouvelables telles que l'énergie solaire thermique et l'énergie géothermique.

Compteurs prépayés: sont des compteurs d'électricité qui obligent les consommateurs à payer à l'avance pour une certaine quantité d'électricité avant de la consommer.

Conception et pratiques de la communauté durable: se rapporte à la planification, la conception, la construction, la gestion et la promotion du développement social et économique des communautés pour satisfaire aux objectifs du développement durable.

Conception solaire passive: il s'agit des stratégies de conception qui permettent aux bâtiments de bien faire face aux conditions géographiques et bioclimatiques et à son environnement immédiat. Les objectifs sont de réduire la demande d'énergie pour le confort thermique, l'éclairage artificiel et autres performances de l'environnement du bâtiment. Les stratégies comprennent la sélection du site, la conception résistante au soleil, au vent, et l'utilisation de matériaux à masse thermique.

Conduit de lumière: se compose d'un dôme transparent sur l'extérieur, d'un tuyau de métal réfléchissant et un diffuseur à installer sur le plafond. Le dôme collecte et amplifie la lumière du jour/naturelle extérieure qui est transmise à travers le tuyau métallique interne réfléchissant vers le diffuseur qui, à son tour, diffuse la lumière du jour à l'espace interne.

Confort thermique: est une « *état d'esprit qui exprime la satisfaction avec l'environnement thermique* » (ISO7330). Ces perceptions sont affectées par la température de l'air, la température radiante, l'humidité relative, la vitesse de l'air, l'activité et les vêtements.

Construction in situ: procédé de construction qui est appliqué sur le site du bâtiment en utilisant des matières premières. La construction in situ s'oppose à la construction préfabriquée dans laquelle les éléments de construction sont fabriqués dans une usine, puis transportés sur le site du bâtiment pour assemblage.

Contrôle de zone: est une stratégie utilisée pour générer un système de CVC ou des systèmes d'éclairage artificiel plus efficaces. Chaque fois que possible, les espaces/pièces dans un bâtiment doivent être divisés en petites pièces et zones enclavées, équipée chacune de son propre thermostat, clapet motorisé, capteurs, commutateur et système de contrôle. De cette façon, les utilisateurs sont en mesure de régler la température ambiante et/ou l'éclairage indépendamment, en fonction du niveau de leur confort thermique et/ou des besoins en éclairage.

Cycle de vie (d'un bâtiment): inclut toutes les étapes de la vie d'un bâtiment. Ces étapes sont la fabrication des matériaux des bâtiments, le transport de matériaux des sources/usines de production vers les sites des bâtiments, la construction du bâtiment, l'exploitation du bâtiment et la démolition du bâtiment.

Dispositif de protection solaire (d'ombrage): empêche la lumière directe du soleil de briller sur la surface de vitrage, améliore l'efficacité de la protection solaire des façades et cause moins de transmission thermique via le système de façade.

Énergie micro-hydraulique: l'électricité est produite à partir de l'énergie issue du déplacement de l'eau dans les ruisseaux et les petites rivières. L'énergie peut être utilisée pour produire de l'électricité, ou être utilisée dans le système hybride de production combinée de chaleur et d'électricité.

Éoliennes intégrées au bâtiment: micro-éoliennes intégrées aux toits des bâtiments pour convertir l'énergie du mouvement de l'air en électricité.

Étagère lumineuse: est un dispositif de protection solaire spécialement conçu, placé sur la partie supérieure de la fenêtre/façade vitrée au dessus du niveau de l'œil. Alors que l'éclairage naturel sous l'étagère lumineuse près de la fenêtre est saturé et que l'éblouissement est contourné, la lumière du jour se reflète sur le haut de l'étagère lumineuse jusqu'à la zone du plafond (près de la fenêtre) et se reflète alors davantage dans les espaces intérieurs.

Façade à double peau: se compose de deux peaux de verre agencées avec une cavité intermédiaire aérée pouvant aller de 0,2 mètre à 2 mètres. Pour une cavité plus large - c'est à dire, 0,6 mètre ou plus - les passerelles métalliques perforées sont habituellement installées pour faciliter le nettoyage et l'entretien. Les dispositifs de protection solaire, tels que les stores, peuvent être installés à l'intérieur de la cavité ventilée.

Façades/murs vert(e)s: permettent aux plantes de pousser sur les surfaces de façade/mur des bâtiments à travers des moyens variés - lianes avec des racines auto collantes sur les surfaces murales, plantes rampantes sur maille ou sur support de câble, et panneaux porteurs, avec des plantes pré-cultivées fixées verticalement sur les murs (NParks, 2009).

Fondation de terre compressée stabilisée: est une application innovante des pratiques traditionnelles de l'utilisation de la terre en tant que matériaux de construction. Le sol, qui est creusé en raison de la fondation de la tranchée, est tamisé et mélangé avec du ciment et du sable pour devenir un matériel de construction pour les fondations du bâtiment

Gaz à effet de serre (GES): gaz qui piègent la chaleur dans l'atmosphère, principalement la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone, le méthane, l'oxyde nitreux et l'ozone. Les concentrations croissantes du GES élèvent la température moyenne de la terre et provoquent une série d'autres effets climatiques et météorologiques néfastes.

Isolation dérivée de plantes/animaux: se réfère aux produits d'isolation thermique qui sont dérivés de plantes ou d'animaux, et incluent la fibre de cellulose, la laine de mouton, le coton, et le lin. Ces produits ont une faible énergie intrinsèque puisque les matériaux peuvent provenir de matières premières renouvelables. Ces produits sont sous la forme de fibres, de matelas ou de carton compressé.

Isolation en fibre/laine minérale: se réfère aux produits d'isolation thermique qui sont à base de minéraux. La gamme de produits comprend la laine de roche, la laine de laitier et la laine de verre. Les matières premières sont fondues à haute température, filées en fibres et ajoutées avec un liant pour former des feuilles rigides et des matelas d'isolation. Si enlevée dans des conditions appropriées, la laine minérale peut être réutilisée et recyclée au fil du temps.

Isolation en plastique alvéolaire: se réfère à des produits d'isolation thermique qui sont dérivés de l'huile, et comprennent du polyuréthane rigide, du phénolique, du polystyrène expansé et du polystyrène extrudé.

Isolation thermique: se réfère aux matériaux de construction à faible conductivité thermique. Ils contribuent à réduire la consommation d'énergie dans les bâtiments en empêchant le gain/perte de chaleur à travers l'enveloppe du bâtiment.

Jardins sur toits, jardins de balcon et terrasses plein ciel: sont des jardins avec plantes situés sur les toits, les balcons et les terrasses des bâtiments qui permettent d'avoir des activités de plein air. L'irrigation intégrée, le drainage et l'étanchéité sont les composants communs.

Les options d'atténuation (du secteur du bâtiment): peuvent être définies comme les stratégies, technologies et pratiques de déploiement et de conception de mise en œuvre, qui (a) réduisent la demande énergétique et la consommation associées aux bâtiments provenant de la conception, la construction, le fonctionnement et la rénovation, (b) adoptent des combustibles à faible teneur en carbone ou sans carbone du tout, (c) maximisent la possibilité pour les bâtiments d'agir comme des puits de carbone et (d) sont des catalyseurs pour le changement de comportement envers un mode de vie durable.

Maison passive: prend les principes de la conception classique des bâtiments solaires passifs comme point de départ et les combine avec l'enveloppe du bâtiment étanche et bien isolée pour obtenir des bâtiments très économes en énergie. La maison passive est un bâtiment dans lequel un climat intérieur confortable peut être maintenu sans chauffage actif et sans système de refroidissement. La maison se chauffe et se refroidit toute seule, d'où l'emploi de l'adjectif « passive » (Passive House Institut, 2010).

Matériaux à changement de phase (MCP): opèrent sur la base du principe de stockage de la chaleur latente. Lorsque la température augmente, la température d'un accumulateur de chaleur latente n'augmente pas, mais la moyenne change d'un état physique à l'autre et il emmagasine ainsi de l'énergie. Par conséquent, l'augmentation de l'énergie ne peut pas être détectée par toucher. La température ne monte d'une manière détectable qu'après un changement complet de phase.

Matériaux à masse thermique: absorbent et stockent simplement la chaleur et la fraîcheur pour éviter d'importants changements de température intérieure étant donné que les températures extérieures varient considérablement dans un laps de temps très court. Les produits de maçonnerie, la pierre, et le béton, ont une bonne capacité de stockage thermique.

Matériaux de bâtiments à faibles émissions en carbone: peuvent provenir des matériaux à faible consommation énergétique et à faibles émissions de carbone utilisés dans leurs processus de production, d'assemblage et de transport. En raison de cette définition au sens large, les matériaux de bâtiment à faibles émissions de carbone sont interprétés différemment selon le contexte. Par exemple, les produits métalliques sont considérés comme des matériaux à fortes émissions de carbone parce que leurs procédés d'extraction et de raffinement sont à forte intensité carbonique. Toutefois, les produits métalliques recyclés utilisés dans les nouveaux bâtiments peuvent être considérés à faibles émissions de carbone.

Matériaux qui séquestrent le carbone (ou puits de carbone): proviennent principalement de produits ligneux récoltés (PLR). Le bois est récolté à partir d'arbres qui capturent le carbone par le biais du processus de la photosynthèse. 50% de la masse sèche du bois est du carbone.

Outils de conception assistée par ordinateur: Ces outils simulent les performances des bâtiments, calculent l'énergie nécessaire pour le refroidissement ou le chauffage, les émissions de CO₂, les analyses de cycle de vie, etc. Les outils de simulation sont particulièrement utiles pour définir des stratégies claires de conception et pour estimer les performances du bâtiment, généralement dans les domaines de la trajectoire du soleil et de l'ombre, la lumière naturelle, la dynamique des fluides computationnelle pour le mouvement de l'air, etc.

Parties prenantes ou acteurs (de secteur du bâtiment): incluent, sans se limiter à: les promoteurs immobiliers, les financiers, les gestionnaires de projet, les architectes, les ingénieurs en génie civil et génie de la structure, les ingénieurs mécaniques et électriques, les gestionnaires d'installations, les propriétaires, les locataires, les sous-locataires, etc.

Photovoltaïque intégré au bâtiment: panneaux photovoltaïques intégrés aux toits, aux façades, aux lucarnes ou aux dispositifs de protection solaire (ombrage) des bâtiments.

Pompe à chaleur (thermique): extrait les sources de chaleur des profondeurs de la terre, de l'air ou de l'eau souterraine pendant les mois d'hiver dans les régions tempérées, afin de conditionner la température pour une utilisation en intérieur. En inversant le cycle ci-dessus pendant les mois d'été, la pompe à chaleur extrait la chaleur de l'intérieur vers l'extérieur, afin de fournir une température intérieure plus froide.

Processus de conception intégrée: processus de conception pour livrer un bâtiment dont la relation à son environnement, ses composants techniques, et les technologies, font partie d'un système global et ce durant tout le cycle de la vie du bâtiment (Larsson, 2005). Cet objectif peut être obtenu une fois que les membres de l'équipe professionnelle interdisciplinaire débute le projet et interagissent au niveau de la création et de la conception afin de prendre conjointement des décisions stratégiques et de résoudre, ensemble, tous les problèmes de conception.

Purge: est une mesure qui s'occupe de la qualité de l'air intérieur. La procédure consiste à ouvrir complètement les nouveaux bâtiments terminés, pour la circulation de l'air pendant une période continue requise avant l'occupation.

Ratio du terrain vert: mesure l'indice de la surface foliaire totale sur un site de construction en utilisant une approche volumétrique, en tenant compte des murs verts, des toits verts, des jardins sur toits, etc.

Refroidissement par évaporation: est réalisé au cours du processus d'évaporation de l'eau, dans lequel la température de l'air chute lorsque le volume d'air absorbe l'eau en la transformant de l'état liquide en vapeur.

Refroidisseur (climatiseur): composante du système de CVC centralisé. Il produit de l'eau froide qui est ensuite pompée aux unités de traitement d'air pour refroidir l'air.

Réseau domestique: réseau au sein d'une maison qui relie les appareils électriques domestiques (à savoir: CVC, éclairage, réfrigérateurs, machines à laver, chauffe-eau, téléviseurs, ordinateurs, etc.) aux compteurs intelligents. Les compteurs intelligents permettent aux propriétaires/locataires de surveiller et de gérer leur consommation d'énergie.

Séquestration du carbone: un bâtiment peut agir comme un puits de carbone, soit statiquement grâce à l'utilisation de matériaux de bâtiment qui séquestrent le carbone, soit progressivement grâce à l'intégration de verdure dans les bâtiments et dans le chantier.

Services énergétiques communautaires: fournissent le chauffage, le refroidissement (climatisation) et l'énergie renouvelable à plus d'un seul bâtiment. Ils sont souvent présentés sous deux formes: chauffage/refroidissement centralisé et production combinée de chaleur et d'électricité (PCCE).

Solution d'auto-nettoyage de façade: est populairement trouvée sous la forme de dioxyde de titane (TiO_2) et peut être appliquée aussi bien sur les murs/parois solides que sur le système de vitrage. Le TiO_2 est un photo-catalyseur. Lorsqu'il est exposé au soleil, le TiO_2 active les molécules d'oxygène pour décomposer les microbes, les bactéries et les matières organiques. Par conséquent, lorsqu'on applique une couche de TiO_2 sur les surfaces extérieures de façade, revêtements en aluminium, carreaux céramiques, verre, etc., la façade exécute une fonction d'auto-nettoyage.

Sous-sol échangeur de chaleur: est un processus visant à canaliser l'air entrant à travers des conduits enterrés. La température de la terre constante, qui est souvent plus chaude en hiver et plus froide en été, permet de préchauffer/pré-refroidir l'air entrant.

Sous-traitance basée sur la performance énergétique: méthode d'approvisionnement basée sur la performance et sur un mécanisme financier pour la rénovation des bâtiments, selon laquelle les économies faites sur les factures de services publics qui résultent de l'installation de nouveaux systèmes de bâtiments réduisant la consommation d'énergie, paye le coût du projet de rénovation du bâtiment.

Stockage de glace thermique: la glace est générée pendant les heures creuses et stockée pour la production d'eau froide pendant les heures pleines, aidant ainsi à réduire la charge maximale de l'électricité.

Système de gestion de l'énergie du bâtiment: est un système de contrôle assisté par ordinateur installé dans les bâtiments. Le SGEB intègre le suivi et le contrôle des systèmes mécaniques et électriques dans un bâtiment dans le cadre d'une stratégie globale de contrôle et d'optimisation, relative à l'énergie et au confort des occupants.

Système de récupération de l'eau de pluie (eau pluviale): est une technologie qui facilite la pratique de collecter l'eau de bonne qualité à partir des précipitations naturelles. La méthode la plus populaire pour la récupération des eaux de pluie est la collecte par les toits ou par d'autres surfaces de bâtiment. Un système simple comprend la gouttière et les descentes pluviales, dirigeant l'eau vers un réservoir de stockage.

Système de verdure intégré au bâtiment: permet d'intégrer de la verdure dans un bâtiment et qu'elle fasse même partie des éléments du bâtiment (comme le toit vert et le mur vert).

Système d'éclairage économe en énergie: comprend les lampes, les ballasts et les luminaires économes en énergie. Les lampes à décharge (telles que les lampes fluorescentes compactes, T5 et T8) et la LED (diodes électroluminescentes) sont considérées comme des lampes économes en énergie.

Systèmes hydropneumatiques d'approvisionnement en eau: présentent la pression d'air dans les réservoirs d'eau comme un composant clé de l'économie d'énergie dans les systèmes d'approvisionnement en eau pour l'utilisation du bâtiment. L'air comprimé dans le réservoir remplit trois fonctions: fournir de l'eau à un niveau de pression prédéfinie, réduire les coups de bélier dans les systèmes d'approvisionnement en eau, et utiliser le réglage de pression pour surveiller et contrôler la pompe à eau.

Technologie photovoltaïque: exploite l'énergie du soleil en convertissant la lumière en électricité par processus photovoltaïque.

Technologie solaire thermique: exploite l'énergie du soleil et la transforme en énergie thermique.

Toits verts: sont couverts de beaucoup de végétation, telle que de l'herbe ou des arbustes, en utilisant l'aide d'un système de soutien intégré. Ce système comprend le substrat, le filtre, l'irrigation, le stockage de l'eau et le système de drainage ainsi que l'étanchéité d'une surface de toit/structure. Les toits verts sont conçus pour être légers et ne peuvent généralement pas supporter d'activités publiques lourdes, sauf pour la maintenance.

Valeur globale du transfert thermique: est une mesure de la consommation d'énergie de l'enveloppe du bâtiment. Sa formulation prend en considérations des composantes importantes de l'enveloppe, comme le type du vitrage, la taille de la fenêtre, l'ombrage externe pour les fenêtres, le type de mur et la couleur.

Ventilation par déplacement: fournit généralement l'air conditionné à partir d'un système de plancher surélevé grâce à des registres réglables montés sur le plancher. L'air de la pièce est stratifié: l'air à basse température reste dans la partie inférieure de la pièce (où les gens se trouvent et où l'air frais est requis) et l'air à haute température monte vers le plafond.

Annexe III

Sources d'information supplémentaires sur les technologies et pratiques d'atténuation

Rénovation et utilisation innovante des matériaux et technologies traditionnelles de construction

Liste préliminaire des instituts de recherche/organisations

1. Institut de la terre d'Auroville (Inde): www.earth-auroville.com
2. Institut de l'énergie et des ressources (Inde): www.teriin.org

Conception de maison passive et technologies

Liste préliminaire des instituts de recherche/organisations

1. Association Internationale de la Maison Passive (International): www.passivehouse-international.org
2. Institut Passiv Haus (Allemagne): www.passiv.de/07_eng/index_e.html
3. PASS-NET (Europe): www.pass-net.net

Liste préliminaire des concepteurs/fournisseurs de technologies:

1. Arquitecto Eva Ibars Novella (Slovenie): www.ibars.si
2. Projektant Pozemnych Stavieb Katarína Bódiová (Slovaquie): <http://projekty.bodi.sk>

Cycle de vie et processus de conception intégré

Liste préliminaire des instituts de recherche/organisations

1. Agence internationale de l'énergie – Tâche 23 (International): www.iea-shc.org/task23
2. International Initiative for a Sustainable Built Environment [Initiative internationale pour le bâtiment durable] (International): www.iisbe.org

Liste préliminaire des fournisseurs de technologies:

1. Autodesk (International): www.autodesk.com
2. Bentley (International): www.bentley.com
3. Integrated Environmental Solution [Solution environnementale intégrée] (International): www.iesve.com/RestOfWorld

Isolation thermique de l'enveloppe du bâtiment

Liste préliminaire des instituts de recherche/organisations

1. Laboratory of Heat Transfer and Environmental Engineering [Laboratoire de transfert de chaleur et de génie de l'environnement], Département de génie mécanique, Université Aristote, Grèce. <http://www.meng.auth.gr/el.html>
2. National Research Council Canada [Conseil national de recherche au Canada], Institut de recherche en construction: www.nrc-cnrc.gc.ca

Liste préliminaire des fournisseurs de technologies:

1. Africa Thermal Insulations [Isolation thermique de l'Afrique] (Afrique de Sud): <http://www.alububble.co.za>
2. Hangzhou Phase Change Technology Co., Ltd. [Compagnie de la technologie de changement de phase de Hangzhou], société à responsabilité limitée (Chine): <http://hzfeijie.en.alibaba.com>
3. BASF (Asie/Le Pacifique et l'Amérique du Nord) <http://www.basf.com/group/corporate/en/contact>

Systèmes de façades de bâtiments à haute performance

Liste préliminaire des instituts de recherche/organisations

1. Centre for Total Building Performance [Centre pour la performance totale des bâtiments], Université Nationale de Singapour (Singapour): www.ctbp.bdg.nus.edu.sg
2. Division of Energy and Building Design [Division de l'énergie et de la conception du bâtiment], Université de Lund (Suède): www.ebd.lth.se/english
3. Buildings Technology Department [Département de la technologie du bâtiment], Laboratoire National Lawrence Berkeley (Etats unis): <http://lowenergyfacades.lbl.gov>

Liste préliminaire des fournisseurs de technologies:

1. Somfy for Bioclimatic Facades [Somfy pour les façades bioclimatiques] (International): www.somfyarchitecture.com
2. Advanced Glazings (Canada): www.advancedglazings.com
3. Viracon (International): www.viracon.com

Technologies d'exploitation de la lumière naturelle

Liste préliminaire des instituts de recherche/organisations

1. Daylighting Collaborative (Etats Unis): www.daylighting.org/index.php
2. Laboratoire MIT Daylighting (Etats Unis): <http://daylighting.mit.edu/home.php>

Liste préliminaire des fournisseurs de technologies:

1. Solatube International (International): www.solatube.com
2. Solar Tracking Skylight Inc [Inc. Puits de lumière traqueurs solaires] (Etats Unis d'Amérique): www.solar-track.com

Systèmes de Chauffage, Ventilation et Climatisation à haute performance

Liste préliminaire des instituts de recherche/organisations

1. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers [Société Américaine d'Ingénieurs de Chauffage, de Réfrigération et de Climatisation] (Etats Unis d'Amérique et International): www.ashrae.org
2. Energy System Laboratory [Laboratoire de système énergétique], Université Technologique de Nanyang (Singapour): www.mae.ntu.edu.sg/AboutMAE/Divisions/ESLab/Pages/Home.aspx

Liste préliminaire des fournisseurs de technologies:

1. Trane Inc. (International): www.trane.com/Corporate/default.asp
2. Broad Air Conditioning (Chine): <http://www.broad.com>

Systems d'éclairage à haute performance

Liste préliminaire des instituts de recherche/organisations

1. en.lighten Initiative [Initiative d'éclairage] (Global): <http://www.enlighten-initiative.org>
2. Efficient Lighting Initiative [Initiative de l'éclairage performant] (Asie de l'Est et Afrique du Sud): www.efficientlighting.net
3. International Association of Lighting Designers [Association Internationale des concepteurs d'éclairage] (International): www.iald.org
4. Lighting Africa [Eclairer l'Afrique] (Afrique): www.lightingafrica.org

Liste préliminaire des fournisseurs de technologies:

1. Philips (International): www.philips.com/global/index.page
2. Osram (International): www.osram.com/osram_com

Technologies d'économie d'eau

Liste préliminaire des instituts de recherche/organisations

1. Healing Water Institute [Institut de l'Eau de Guérison] (Royaume-Uni, Nouvelle-Zélande): www.healing-water.org
2. NAHB Research Centre [Centre de recherche NAHB] (Etats Unis d'Amérique): www.toolbase.org/index.aspx
3. Alliance for Water Efficiency [Alliance pour l'économie d'eau] (Etats Unis d'Amérique): www.allianceforwaterefficiency.org/default.aspx

Liste préliminaire des fournisseurs de technologies:

1. Daelyu Industry Ltd (Corée): <http://daelyu.en.ec21.com>
2. Johnson Controls (International): <http://www.johnsoncontrols.com/publish/us/en.html>

Matériaux et produits de construction puits de carbone et à faible teneur en carbone

Liste préliminaire des instituts de recherche/organisations

1. International Network for Bamboo and Rattan [Réseau International pour le Bambou et le Rotin] (International): www.inbar.int/index.ASP
2. Singapore Environment Council [Conseil de l'Environnement de Singapour] (Singapour): www.sec.org.sg

Liste préliminaire des fournisseurs de technologies:

1. Bamboo Living (Etats Unis d'Amérique): www.bamboolive.com
2. ENGRO (Green Concrete) [Béton vert] (Singapour et la Chine): www.engro-global.com/index.html

Rendre les bâtiments plus verts et créer des systèmes de verdure intégrés au bâtiment

Liste préliminaire des instituts de recherche/organisations

1. International Green Roof Association [Association Internationale des toits verts] (International): www.igra-world.com
2. Centre for Urban Greenery and Ecology [Centre de Verdure et d'écologie urbaines] (Singapour): www.cuge.com.sg

Liste préliminaire des fournisseurs de technologies:

1. Green China Design [Conception Ecologique de la Chine] (Chine): <http://greenchina.cuberoof.com>
2. Elmich Singapore Pte Ltd (Singapour): www.elmich.com
3. Zhimizu Corporation (International): <http://www.shimz.co.jp/english/index.html>

Technologies solaires

Liste préliminaire des instituts de recherche/organisations

1. International Solar Energy Society [Société Internationale de l'Energie Solaire] (International): www.ises.org
2. UNIDO International Solar Energy Center for Technology Promotion and Transfer [Centre International de l'Energie Solaire UNIDO pour la promotion et le transfert technologiques] (International): www.unido-isec.org/englishindex/Index.html
3. Renewable Energy and Policy Network for the 21st Century [Energie Renouvelable et Réseau de politique] (International): www.ren21.net/default.asp
4. Solar Energy Research Institute of Singapore [Institut de Recherche sur l'Energie Solaire] (Singapour): www.seris.sg
5. Sustainable Energy Society of Southern Africa [Société de l'Energie Durable de l'Afrique du Sud] (Afrique du Sud): www.sessa.org.za
6. Solar Aid (Afrique orientale et Australe): <http://www.solar-aid.org>
7. Solar Combi + (Europe): www.solarcombiplus.eu
8. Solar Energy Foundation [Fondation de l'Energie Solaire] (la Suède en soutien aux pays en développement): <http://www.solarenergyfoundation.com/sefpurpose.htm>

9. Solar Energy Section [Section de l'Énergie Solaire], Collège Barefoot (Inde): <http://www.barefootcollege.org>

Liste préliminaire des fournisseurs de technologies:

1. Siemens Solar Industries [les Industries Solaires de Siemens] (International): <http://www.automation.siemens.com/mcms/solar-industry/en/Pages/Default.aspx>
2. Solar Dynamics Pte. [Les Dynamiques Solaires] (Les Caraïbes): <http://solar-dynamics.com>
3. Shanghai Roy Solar Co., Ltd. (Chine): <http://www.roysolar.com>
4. SOLID solar installation+design [Conception et Installation solaire SOLID] (Chine): www.solidchina.com
5. Midrand Solar Technologies [Technologies Solaires de Midrand] (Afrique du Sud): <http://www.midrandsolar.co.za>

Éoliennes intégrées au bâtiment

Liste préliminaire des instituts de recherche/organisations

1. Renewable Energy Research Centre [Centre de recherche sur l'Énergie Renouvelable], Université de Dhaka, Dhaka (Bangladesh): www.univdhaka.edu/research3/research_centre_details.php?id=6
2. Center for the Study of Wind Resources (CERE) [Centre pour l'Étude des ressources Éoliennes], Universidad de Magallanes (UMAG), Punta Arenas, Chile: <https://www.umag.cl/en/research.php>
3. Global Wind Energy Association [Association Mondiale de l'Énergie Éolienne] (International): www.gwec.net
4. African Wind Energy Association [Association Africaine de l'Énergie Éolienne] (Afrique): www.afriwea.org

Liste préliminaire des fournisseurs de technologies:

1. Vestas (Denmark, International): www.vestas.com
2. Aeolos Wind Turbine [Éolienne Aeolos] (International): www.windturbinestar.com
3. Eveready-Kestrel (Afrique du sud): www.kestrelwind.co.za

Gestion de l'énergie et amélioration de la performance

Liste préliminaire des instituts de recherche/organisations:

1. EPC Watch (International): <http://energyperformancecontracting.org>
2. Caribbean Hotel Energy Efficiency Action Project [Projet d'action de l'économie en énergie de l'Hôtel aux Caraïbes (Les Caraïbes): www.caribbeanhotelandtourism.com/CASTchenact.php

Liste préliminaire des fournisseurs de technologies:

1. Honeywell Building Solutions [Solutions Honeywell du bâtiment] (International): <https://buildingsolutions.honeywell.com/Cultures/en-US>
2. Siemens Building Technologies [les Technologies Siemens du bâtiment] (International): www.buildingtechnologies.siemens.co.uk
3. Self Energy Group (Europe et Afrique): www.selfenergy.eu

Catalyseurs du changement de comportement

Liste préliminaire des instituts de recherche/organisations:

1. Smart House/Smart Grid [Maison intelligente/Réseau électrique intelligent]: www.smarthouse-smartgrid.eu
2. Smart Green Home Consortium (International) [Consortium maison écologique et intelligente]: <http://smartgreenhome.org>

Liste préliminaire des fournisseurs de technologies :

1. Greenway Reality (Singapour, Danemark et Etats Unis d'Amérique) : www.greenwavereality.com
2. Pacific Gas and Electricity Company [Compagnie de Gaz et d'électricité du Pacifique] (Etats Unis d'Amérique): www.pge.com

Services d'énergie communautaires

Liste préliminaire des instituts de recherche/organisations :

1. IEA District Heating and Cooling [Département de chauffage et de climatisation IEA] (International) : www.iea-dhc.org
2. BSP – Nepal Bakhundole, Lalitpur, Nepal: www.bspnepal.org.np/introduction.htm
3. Energy Charter Secretariat [Secrétariat de la Charte de l'énergie] (Europe et Asie) : www.encharter.org
4. Association for the District Heating of the Czech Republic [Association pour le département du chauffage de la République Tchèque] (ADH CR) : <http://www.tscr.cz/index.php>

Liste préliminaire des fournisseurs de technologies :

1. Terra Humana Clean Technology Engineering Ltd [société à responsabilité limitée] (Hongrie) : www.terrenum.net/cleancoal

Conception et pratiques de la communauté durable

Liste préliminaire des instituts de recherche et organisations de soutien :

1. BREEAM Communities (Royaume Uni) : www.breeam.org/page.jsp?id=117
2. Global Ecovillage Network [Réseau mondial Ecovillage] (Global) : <http://gen.ecovillage.org>
3. Green Building Council Australia, Green Star Communities [Conseil du bâtiment durable] (Australie) : www.gbca.org.au/green-star/green-star-communities
4. Green Communities [Communautés écologiques] (Afrique du Sud) : www.greencommunities.co.za/default.asp
5. Habitat for Humanity [Habitat pour l'humanité] (International) : www.habitat.org
6. Sustainable Community Design [Conception de la communauté durable], Université de Manitoba (Amérique du Nord): www.arch.umanitoba.ca/sustainable/contents.htm
7. US Green Building Council [Conseil du bâtiment durable des Etats Unis]- LEED pour le développement du voisinage (Etats Unis et International) : www.usgbc.org/DisplayPage.aspx?CMSPageID=148



Ce livret couvre un éventail de technologies, de principes de conception, et de pratiques dans le secteur du bâtiment, qui peuvent réduire les émissions de gaz à effet de serre de manière considérable, tout en améliorant les conditions de vie et de travail. Toutes les technologies et pratiques sont examinées et expliquées dans un langage simple ; des approches pour leur mise en œuvre sont également proposées. Ce livret est destiné aux équipes EBT nationales composées de parties prenantes issues du gouvernement, des organisations non-gouvernementales et du secteur privé.

Cette publication est coordonnée par Dr. Jorge Rogat et réalisée par Dr. Wynn Chi-Nguyen Cam, avec le concours d'autres experts du secteur du bâtiment.

En tant qu'architecte, chercheur, et facilitateur de processus décisionnels au niveau international, l'auteur associe ses connaissances de l'environnement bâti durable à celles qu'ils possèdent sur le changement climatique, et nous offre une analyse équilibrée des technologies, à la fois sous l'angle du climat et du développement durable.

Cette publication fait partie d'une série de livrets sur les technologies d'adaptation et d'atténuation, développée dans le cadre du projet sur l'Évaluation des Besoins en Technologies (EBT) et financée par le GEF. Ce projet est mené par le PNUE et le CPR dans 36 pays en voie de développement.



Centre PNUE de Risoe

DTU Laboratoire National pour l'Énergie Durable de DTU Risoe

<http://www.uneprioso.org/>

<http://tech-action.org/>