

ROYAUME DU MAROC



Ministère de l'Aménagement du Territoire National,
de l'Urbanisme, de l'Habitat et de la Politique de la Ville
- Habitat et Politique de la Ville -
Secrétariat Général
Direction de la Qualité et des Affaires Techniques



PEEB
PROGRAMME FOR
ENERGY EFFICIENCY
IN BUILDINGS



EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DANS LES BÂTIMENTS AU MAROC

Support de sensibilisation

**EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE
DANS LES BÂTIMENTS AU MAROC
Support de sensibilisation**



Table des matières

Préambule.....	9
1. Contexte général du secteur de l'énergie au Maroc et de l'efficacité énergétique dans le bâtiment en particulier.....	11
1.1. Stratégie Nationale de Développement Durable (SNDD)	12
1.2. Stratégie Énergétique Nationale	14
1.3. L'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment	15
2. Cadre législatif, institutionnel et réglementaire de l'efficacité énergétique au Maroc	21
2.1. Réglementation de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables.....	22
2.2. Règlement Général de Construction fixant les performances énergétiques de bâtiments	24
3. Notions de bases de l'efficacité énergétique dans le bâtiment	28
3.1. Notions de base	29
3.2. Volet passif.....	30
3.3. Volet actif.....	34
4. Intégration de l'efficacité énergétique dans les bâtiments	41
4.1. Nouveaux bâtiments.....	42
4.2. Bâtiments existants	50
4.3. Surcoûts engendrés et bénéfiques pour le maître d'ouvrage, les utilisateurs et consommateurs.....	52
5. Exemples de bâtiments intégrant les mesures d'efficacité énergétique au Maroc	53
6. Conclusion	60
Ressources et références documentaires	62

Liste des figures

Figure 1 : Objectifs de développement durable	12
Figure 2 : CDN, répartition des atténuations attendues par secteur de 2020 à 2030	13
Figure 3 : Répartition des types d'énergie dans l'habitat	16
Figure 4 : Répartition de la consommation d'énergie par usage dans l'habitat	16
Figure 5 : Répartition de la consommation d'électricité par usage dans l'habitat	16
Figure 6 : Répartition des types d'énergie tertiaire	16
Figure 7 : Chronologie des principales actions	18
Figure 8 : Carte de zonage climatique du Maroc adaptée aux besoins du RGC PE	25
Figure 9 : Types d'isolants	30
Figure 10 : Applications des isolants thermiques	31
Figure 11 : Les ponts thermiques	32
Figure 12 : Thermographie	32
Figure 13 : Isolation thermique (intérieure et extérieure)	33
Figure 14 : Ouvertures de ventilations et ouvrants	33
Figure 15 : Conduits de ventilation naturelle	33
Figure 16 : Principes du chauffage solaire passif	34
Figure 17 : Coupe schématique d'une chaudière	34
Figure 18 : Performance énergétique d'une chaudière	35
Figure 19 : Schéma de principe d'une pompe à chaleur en mode chauffage	35
Figure 20 : Transfert d'énergie d'une PAC en mode chauffage	35
Figure 21 : Centrale de traitement d'air (simple flux)	36
Figure 22 : Centrale de traitement d'air (double flux)	36
Figure 23 : Extraction d'air	37
Figure 24 : Principes du solaire thermique	37
Figure 25 : Principes de fonctionnement d'un capteur solaire	37
Figure 26 : Composants d'un système de chauffage solaire (ECS)	38
Figure 27 : GTB : Champs d'application	38
Figure 28 : Prise en compte de l'environnement immédiat et du vent	42
Figure 29 : Impact de la compacité du bâtiment	43
Figure 30 : Orientation d'un bâtiment	43
Figure 31 : Exemples de protection solaire	44
Figure 32 : Ventilation nocturne	44
Figure 33 : Grandes fenêtres au Sud – fenêtres réduite à l'Est et à l'Ouest	45
Figure 34 : Performances des fenêtres en fonction du type de vitrage l'Est et à l'Ouest	45

Figure 35 : Impact du revêtement sur le réchauffement de la toiture	46
Figure 36 : Exemple d'isolation de la toiture	46
Figure 37 : Isolation des murs extérieurs	48
Figure 38 : Exemple d'isolation du plancher bas	48
Figure 39 : Exemples de ponts thermiques	49
Figure 40 : Isolation de la toiture avec lestage	51
Figure 41 : Isolation des toitures	55
Figure 42 : Isolation des murs	56
Figure 43 : Isolation des planchers	56
Figure 44 : Menuiserie double vitrage	57
Figure 45 : Protections solaires	58
Figure 46 : Chauffe-eau solaires	59

Liste des tableaux

Tableau 1 : CDN, mesures d'efficacité énergétique dans le bâtiment	13
Tableau 2 : Stratégie nationale d'efficacité énergétique, potentiels d'économie d'énergie dans le secteur	15
Tableau 3 : Initiatives d'efficacité énergétique dans le bâtiment	18
Tableau 4 : Besoins spécifiques thermiques annuels de chauffage et climatisation des bâtiments au Maroc	26
Tableau 5 : Performances énergétiques minimales des pompes à chaleur	36
Tableau 6 : Exemple de quelques projets démonstrateurs	54
Tableau 7 : Isolation des toitures	54
Tableau 8 : Isolation des murs	55
Tableau 9 : Isolation des planchers	56
Tableau 10 : Menuiserie double vitrage	57
Tableau 11 : Protections solaires	58
Tableau 12 : Chauffe-eau solaires	58

Liste des acronymes

ADEME	Agence française de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
AFD	Agence française pour le développement
AIE	Agence internationale de l'énergie
AMEE	Agence marocaine pour l'efficacité énergétique
BERD	Banque européenne de reconstruction et de développement
COP	Coefficient de performance énergétique
CCNUCC	Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques
CDN	Contribution déterminée au niveau national
CES	Chauffe-eau solaire
CVC	Chauffage, ventilation climatisation
EE	Efficacité énergétique
ER	Énergies renouvelables
GIZ	Coopération Allemande au Développement
GPL	Gaz de pétrole liquéfié
IFMEREE	Instituts de Formation aux métiers des Énergies Renouvelables et de l'Efficacité Énergétique
IRESEN	Institut de recherche en énergie solaire et énergies nouvelles
MASEN	Moroccan Agency for Sustainable Energy
MEMDD	Ministère de l'Énergie, des Mines et du Développement Durable
MATNUHPV	Ministère de l'Aménagement du Territoire National, de l'Urbanisme, de l'Habitat et de la Politique de la Ville
MI	Ministère de l'Intérieur
MICNT	Ministère de l'Industrie, du Commerce, de l'Investissement et de l'Économie Numérique
MO	Maître d'ouvrage
MORSEFF	Ligne marocaine de financement de l'énergie durable
ODD	Objectifs de développement durable
PAC	Pompe à chaleur
PEEB	Programme pour l'efficacité énergétique dans les bâtiments
PV	Photovoltaïque
RGC-PE	Règlement général de construction fixant les règles de performance énergétique
SBC	Stratégie bas carbone
SNDD	Stratégie nationale de développement durable
TGBV	Taux global de baies vitrées

Préambule

La nouvelle politique énergétique du Maroc place le pays dans la voie d'une réelle transition énergétique qui modifiera profondément le paysage énergétique national grâce à l'ouverture du marché énergétique à l'investissement privé, mais surtout grâce au rôle d'acteur citoyen dans le secteur qu'elle confère au consommateur traditionnel : Collectivités Locales, industriels, opérateurs dans le tertiaire, agriculteurs, abonnés patentés et abonnés résidentiels.

Un effort considérable est ainsi consenti au niveau du développement de l'offre énergétique, avec la mise en place des plans solaire, éolien et hydroélectrique qui visent l'atteinte, en 2030, d'un objectif de puissance électrique installée d'Énergie Renouvelable (ER) totalisant 52% de la puissance totale installée.

Au niveau de la demande, les efforts sont déployés pour maîtriser la croissance continue de la consommation d'énergie à travers la stratégie nationale de l'efficacité énergétique dont l'objectif à l'horizon 2030 vise une économie d'énergie de 20%.

Cette stratégie s'inscrit dans le cadre des orientations Royales explicitées dans le message de Sa Majesté au Forum Mondial sur l'Efficacité Énergétique (EE) tenu en mai 2017 :

« L'efficacité énergétique constitue, aujourd'hui avec les énergies renouvelables, une nouvelle révolution dans le secteur énergétique de par l'évolution technologique qui assure une corrélation entre ces deux composantes. Elle devrait être intégrée et prise en considération dans les décisions d'investissement et de choix technologique dans l'ensemble des secteurs clés et gros consommateurs d'énergie, notamment l'industrie, le bâtiment, le transport, l'éclairage public et l'agriculture ».

Cette stratégie apportera par ailleurs une contribution effective à la concrétisation de l'engagement du Maroc d'atténuation de ses émissions de gaz à effet de serre (17% d'atténuation de manière inconditionnelle et 42% avec le soutien de communauté internationale) dont près de 60% des efforts sont liés à l'énergie.

La mise en œuvre des orientations Royales et le respect de l'engagement du Maroc en matière d'atténuation des ses émissions de gaz à effet de serre (GES) constituent le challenge à gagner au moyen d'actions de sensibilisation et de formation pour la réussite du nouveau dispositif réglementaire en développement, de mobilisation de financements et mécanismes innovants y afférents (8 Milliards US\$ pour l'efficacité énergétique), d'encadrement des marchés émergents de l'EE et les ER (normalisation des équipements et des services, labellisation des produits, accréditation des prestataires), de soutien à la recherche et développement (R&D) ou encore d'incitation à l'intégration industrielle pour augmenter la valeur ajoutée locale au niveau des investissements EE & ER consentis (développement industriel local d'équipements).

Le secteur du bâtiment, boosté notamment par la politique nationale de promotion du logement social et le développement des activités tertiaires, compte pour près de 8% dans ces efforts d'atténuation et représente près du quart du potentiel d'économie d'énergie tous secteurs confondus.

Le présent document est élaboré à l'attention des cadres du Ministère de l'Aménagement du Territoire National, de l'Urbanisme, de l'Habitat et de la Politique de la Ville dans le cadre de l'assistance technique du Programme pour l'Efficacité Énergétique dans les Bâtiments (PEEB) mis en œuvre par l'Agence Française de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME), l'Agence Française de Développement (AFD) et la Deutsche Gesellschaft für International Zusammenarbeit (GIZ). Il a été élaboré dans un but pédagogique à partir de ressources documentaires des Ministères de tutelle notamment le Ministère de l'Énergie, des Mines, et du Développement Durable, l'Agence Marocaine de l'Efficacité Énergétique, le Ministère de l'Aménagement du Territoire National, de l'Urbanisme, de l'Habitat et de la politique de la Ville, ainsi que le Secrétariat d'État chargé du Développement durable et le Holding Al Omrane.

Il vise à donner un aperçu approfondi sur :

- Le contexte général du secteur de l'énergie au Maroc et de l'efficacité énergétique dans le bâtiment ;
- Le cadre législatif, institutionnel et réglementaire de l'efficacité énergétique ;
- Les notions de bases de l'efficacité énergétique dans le bâtiment ;
- L'intégration de l'efficacité énergétique dans le bâtiment ;
- Avec quelques exemples au Maroc de bâtiments intégrant les mesures d'efficacité énergétique.

1

Contexte général du secteur de l'énergie au Maroc et de l'efficacité énergétique dans le bâtiment en particulier

Le contexte de l'efficacité énergétique dans le bâtiment peut être décliné selon trois principaux agendas nationaux de développement sur lesquels œuvre le Maroc. Il s'agit de :

- Stratégie Nationale de Développement Durable
- Stratégie énergétique nationale
- Stratégie de l'efficacité énergétique



Contexte de l'efficacité énergétique au Maroc

1.1. Stratégie Nationale de Développement Durable (SNDD)

La SNDD du Maroc a été adoptée en Conseil des Ministres en juin 2017 pour assurer une transition vers une économie verte et inclusive à travers 7 axes prioritaires qui interpellent tous le secteur du bâtiment :

- La Consolidation de la gouvernance du développement durable, au titre d'une plus grande convergence des politiques publiques et d'encouragement de la force de l'exemplarité de l'administration publique. Dans ce sens, la circulaire du 3 août 2018 du Ministère de la réforme de l'administration et de la fonction publique appelle à la mise en œuvre de mesures d'économie d'énergie de 20% et d'intégration des énergies renouvelables à hauteur de 20% ;
- La réussite de la transition vers une économie verte, notamment par l'accélération de la mise en œuvre des politiques d'efficacité et de transition énergétique et l'alignement de l'urbanisme sur les principes de développement durable ;
- L'amélioration de la gestion et de la valorisation des ressources naturelles, par la protection de la biodiversité et le renforcement des politiques de conservation ;
- L'accélération de la mise en œuvre de la politique nationale de lutte contre le changement climatique, dans une démarche territoriale ;
- La vigilance particulière à accorder aux territoires sensibles, par la préservation et la valorisation des zones oasiennes, désertiques et de montagne ;
- La promotion du développement humain, et la réduction des inégalités sociales et territoriales ;
- La promotion de la culture du développement durable, par le renforcement de l'écocitoyenneté, l'innovation et la recherche et développement.

La SNDD répond ainsi aux engagements pris par le Maroc vis-à-vis de la communauté internationale pour atteindre en 2030 les 17 objectifs de développement durable (ODD) et contribuer à la lutte contre le changement climatique tel que spécifié par la Contribution Déterminée au niveau National (CDN) :

■ Objectifs de développement durable 2030 (ODD)

Il y a lieu de mettre en exergue l'objectif N° 7, dédié à l'accès à l'énergie et aux énergies propres en vu de :

- Garantir l'accès à des services énergétiques fiables, modernes, à un coût abordable;
- Accroître la part de l'énergie renouvelable dans le mix énergétique ;
- Multiplier par deux le taux d'amélioration de l'efficacité énergétique ;
- Développer l'infrastructure et améliorer la technologie afin d'approvisionner en services énergétiques durables tous les habitants.

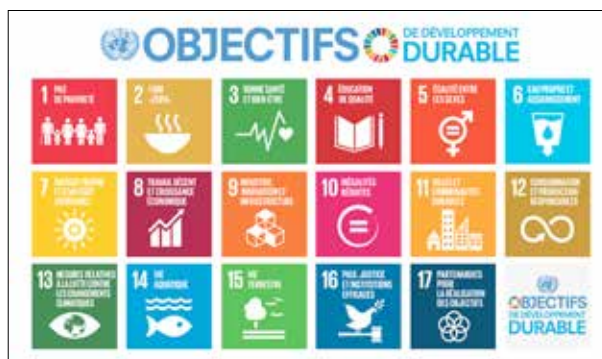


Figure 1 : Objectifs de développement durable

■ Contributions Déterminée au niveau National (CDN)

Le Maroc a soumis à la Convention Cadre des Nation Unies contre le Changement Climatique (CCNUCC) sa Contribution Déterminée au niveau National (CDN) en octobre 2016. Par cet engagement, le Maroc vise un objectif d'atténuation de ses émissions de GES de 17% à l'horizon 2030 au niveau des secteurs économiques et sociaux clés. Cet objectif pourra, avec le soutien de la finance « Climat », être porté à 42% d'effort d'atténuation.

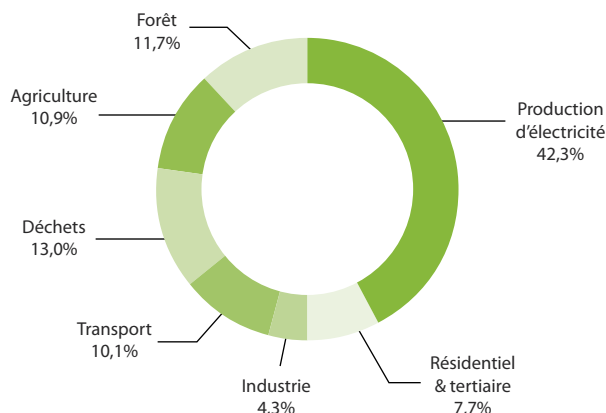


Figure 2 : CDN, répartition des atténuations attendues par secteur de 2020 à 2030

Le secteur du bâtiment présente un potentiel d'atténuation de près de 8% et est concerné par le volet adaptation essentiellement pour les questions relatives à l'Eau et la Biodiversité. Les mesures d'efficacité énergétique prévues par la CDN pour le secteur du bâtiment résidentiel et tertiaire sont explicitées dans le tableau ci-après :

Mesures d'efficacité énergétiques, secteur du bâtiment	Estimation des coûts de mise en œuvre (M US\$)	Potentiel de réductions d'émission cumulées 2020-2030 (M téq-CO2)
Actions inconditionnelles		
Étiquetage énergétique des réfrigérateurs. Mise en place d'un programme d'étiquetage énergétique des réfrigérateurs	100	2
Efficacité énergétique pour les enveloppes de bâtiments. Adoption du code de Réglementation Thermique de Construction au Maroc dans le bâtiment résidentiel et tertiaire	18	2
Efficacité énergétique dans le secteur du tourisme. Mise en place d'un programme d'efficacité énergétique dans le secteur du tourisme, incluant : 300 000 lampes à basse consommation, 300 000 m ² de chauffe-eau solaire et l'application du Code de réglementation thermique de construction	86	1
Ville économe en énergie. Mise en place d'une ville modèle à faible émission de carbone axée sur des actions efficaces en matière d'énergie, de transport et de gestion des déchets	165	1
Actions conditionnelles		
Plan national de développement des chauffe-eau solaires. Développement de la filière solaire thermique en vue d'atteindre 1 700 000 m ² à l'horizon 2030	945	15
Programme de lampes à basse consommation dans le secteur résidentiel. Mise en place de 14 700 000 lampes à basse consommation dans le secteur résidentiel	18	14
Installations de panneaux solaires photovoltaïques. Mise en place d'un programme de promotion des panneaux solaires photovoltaïques connectés aux réseaux basse tension d'une capacité totale de 1000 MWc à l'horizon 2030	2020	4
Programme d'efficacité énergétique dans l'éclairage public. Mise en place d'un programme d'efficacité énergétique dans l'éclairage public dans les grandes villes du Maroc	310	1

Tableau 1 : CDN, mesures d'efficacité énergétique dans le bâtiment

1.2. Stratégie Énergétique Nationale

Chiffres clés (Source AIE 2014)

- Consommation énergie par habitant/an : 0,58 TEP ;
- Dépendance énergétique : 93% (2013), objectif de 85% en 2025 avec la mise en œuvre des programmes ER & EE ;
- Consommation d'énergie par secteur : transport 33,3%, industrie 26%, résidentiel 20,4%, tertiaire et autres 20,3% ;
- Consommation d'électricité par secteur, résidentiel 40%, tertiaire et autres 33%, industrie 26%, transport moins de 1% ;
- Taux d'électrification : supérieur à 95%.

Le secteur énergétique national connaît un essor considérable depuis le lancement, en 2009, de la stratégie énergétique renouvelée du Maroc qui vise l'accompagnement du processus de développement économique et social du pays. Les impératifs de cette stratégie sont établis comme suit :

- La sécurité d'approvisionnement et la disponibilité de l'énergie dans un contexte de forte dépendance énergétique ;
- L'accès généralisé à l'énergie et à des prix raisonnables afin d'atténuer les effets de la volatilité des prix des énergies fossiles ;
- La maîtrise de la demande dont la croissance reste forte ;
- La préservation de l'environnement.

A cette fin, les choix stratégiques retenus articulent la nouvelle politique énergétique autour des axes suivants :

- Œuvrer pour un mix énergétique optimisé, fiable et compétitif ;
- Mobiliser les ressources en énergies renouvelables ;
- Ériger l'efficacité énergétique en priorité nationale ;
- Renforcer l'intégration des réseaux (électricité et gaz) au système énergétique méditerranéen ;
- Contribuer de manière effective à la Politique Nationale de Développement Durable.

Dans cette stratégie, les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique occupent une place de choix. Cela est traduit par nombres de dispositions prises par les pouvoirs publics afin d'atteindre les objectifs d'économie d'énergie de 20% et de constitution d'un parc de production d'électricité représentant 52% de la puissance totale installée à l'horizon 2030.

Il s'agit du développement d'un dispositif d'encadrement approprié notamment :

- L'institutionnalisation de la gestion des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique au niveau national par la création d'agences dédiées (MASEN, AMEE) ;
- La mise en place d'un Fonds de Soutien au développement du secteur énergétique d'un montant d'un Milliards US \$;
- La mise en place de la Société d'Investissement Énergétique à même de faciliter le déploiement d'acteurs industriels et de services dans le nouveau marché des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique en développement ;
- Le déploiement de l'IRESEN en vue de structurer et d'encourager la R&D et l'innovation dans ces domaines.

Il s'agit également du vaste chantier réglementaire dédié à l'efficacité énergétique et aux énergies renouvelables ouvert par le Ministère de l'Énergie, des Mines et du Développement Durable. Ce chantier porte sur la libéralisation progressive de la production d'énergie par l'exploitation des énergies renouvelables et l'orientation des différents secteurs économiques en direction d'une plus grande performance énergétique (voir chapitre II).

Le secteur de production de l'énergie bénéficie ainsi d'une dynamique bien encadrée et structurée dont la composante «Programme de production d'électricité par Énergies Renouvelables» visant une puissance installée totale de quelques 10 GW (Éolien, Solaire, Hydro électricité) à l'horizon 2030.

L'efficacité énergétique qui permet d'agir sur la demande a fait l'objet du projet de Stratégie Nationale pour lequel le MEMDD et l'AMEE ont ciblé 4 secteurs économiques clés présentés dans le tableau ci-après. Les potentiels d'économie d'énergie pour chacun et les actions à mener ont identifiés.

Secteur	Potentiel d'économie d'énergie	Activités possibles dans le secteur
Résidentiel Commercial Institutionnel	20% de la consommation du secteur 1,7 MTEP	<ul style="list-style-type: none"> - Développer une stratégie nationale d'étiquetage des réfrigérateurs - Étendre l'étiquetage aux principaux équipements des bâtiments - Développer une stratégie nationale d'élimination des lampes incandescentes - Développer une stratégie d'efficacité de l'éclairage public - Développer une stratégie de déploiement des chauffe-eau solaires - Développer les installations photovoltaïques sur toitures - Améliorer la qualité thermique des maisons marocaines
Industriel	24% 4 MTEP	<ul style="list-style-type: none"> - Généraliser les audits énergétiques dans l'industrie - Implémenter des systèmes de gestion et de la norme ISO 50001 dans les grandes entreprises - Projet-pilote d'implantation de production centralisée des utilités pour un parc industriel intégré - Valoriser les cendres volantes dans l'industrie des matériaux de construction - Augmenter le recyclage de PVC
Transport	35% 1,2 MTEP	<ul style="list-style-type: none"> - Réduire les consommations d'énergie dans les entreprises de transport - Imposer les véhicules et les équipements les plus efficaces - Renforcer le contrôle technique des véhicules - Renouveler les véhicules usagés - Former à la conduite économe
Agriculture et pêche	9% 0,3 MTEP	<ul style="list-style-type: none"> - Établir les Critères d'efficacité énergétique obligatoires dans tout investissement de l'État - Généraliser les audits énergétiques pour les exploitations agricoles - Sensibiliser à l'optimisation de l'usage des équipements agricoles - Soutenir un programme national de promotion du pompage solaire et de l'autoproduction PV et biomasse, - Sensibiliser les exploitants aux enjeux de l'efficacité énergétique - Accompagner des projets de démonstration innovants

Tableau 2 : Stratégie nationale d'efficacité énergétique, potentiels d'économie d'énergie dans le secteur

La mise en œuvre de cette stratégie est en préparation par le MEMDD et l'AMEE dans le cadre d'une collaboration étroite avec les départements et professionnels concernés, en particulier le Ministère de l'Aménagement du Territoire National, de l'Urbanisme, de l'Habitat et de la Politique de la Ville (MATNUHPV).

1.3. L'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment

Le bâtiment représente un secteur clé de l'économie marocaine avec une contribution à hauteur de 6,6% du PIB. La valeur ajoutée du secteur était de 4,71 Mds EUR en 2013. D'autre part, le bâtiment emploie environ 9 % de la population active marocaine, soit environ 1 million de personnes.

La composante «habitat urbain» concerne près de 6 millions de logements, avec une croissance moyenne de 170 000 unités par an et une prédominance de logements réalisées en auto-construction.

Le secteur tertiaire est principalement constitué de bureaux et de commerces, d'hôtels et de restaurants, d'établissements d'enseignement et de santé.

1.3.1. Les profils de consommation énergétique

Le type d'énergie le plus utilisé dans l'habitat est le gaz butane (60% de l'énergie primaire), en premier lieu pour la cuisson des aliments et en deuxième lieu pour la préparation d'eau chaude sanitaire.

En valeur, la moyenne des dépenses des ménages liées à l'énergie se situe aux environs de 3 000 Dhs par an.

La prédominance de la consommation du gaz butane s'explique par la forte subvention dont il bénéficie.

L'élimination de cette subvention est à l'étude par le gouvernement, sa mise en œuvre est de nature à changer le profil de consommation des ménages, en faveur de mesures d'efficacité énergétique et de recours aux énergies renouvelables.

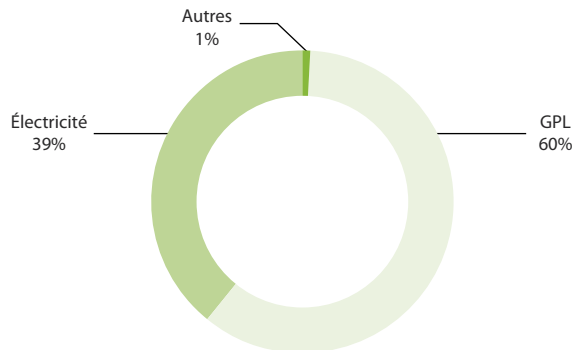


Figure 3 : Répartition des types d'énergie dans l'habitat

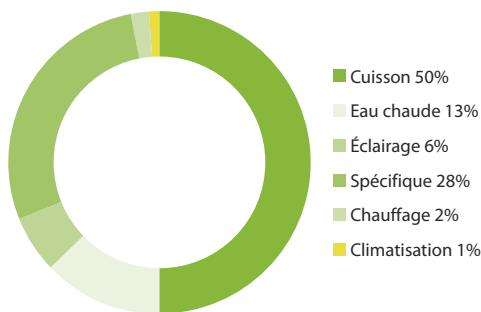


Figure 4 : Répartition de la consommation d'énergie par usage dans l'habitat

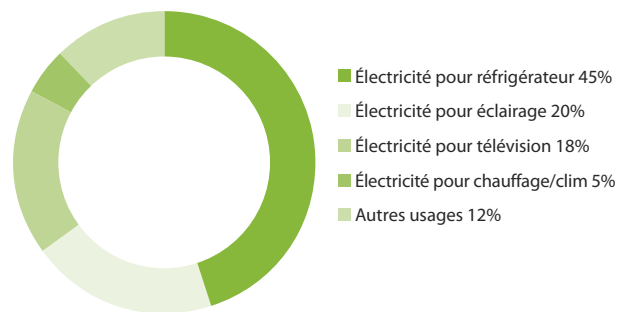


Figure 5 : Répartition de la consommation d'électricité par usage dans l'habitat

La consommation moyenne d'électricité de chaque ménage est passée de 700 kWh par an pour dépasser 1 500 kWh en 2015. Le réfrigérateur est aujourd'hui le principal poste consommateur d'électricité (45% des besoins électriques annuels), devant l'éclairage (20%) et la télévision (18%).

Le secteur tertiaire consomme principalement de l'électricité, et accessoirement du GPL ou du fuel pour la production d'eau chaude sanitaire dans le secteur hôtelier.

Dans le secteur tertiaire, les bureaux et commerces sont les premiers consommateurs avec 48% de l'énergie consommée hors biomasse (dont 20% dans les établissements de l'administration publique et 80% dans les bureaux et les commerces privés).

Les postes d'utilisation principaux concernent l'éclairage et la bureautique (37 et 38%), mais aussi la climatisation et le chauffage (respectivement 16% et 9%).

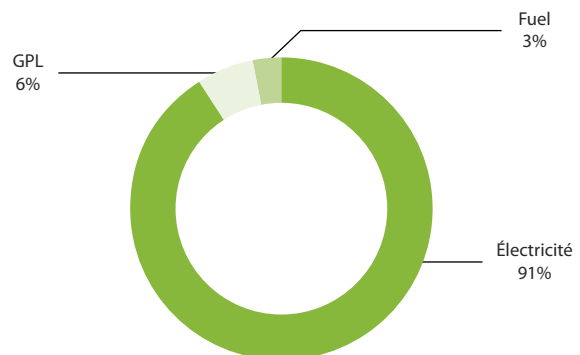


Figure 6 : Répartition des types d'énergie tertiaire

Le chauffage et la climatisation ne représentent pas encore une part de consommation significative dans les moyennes nationales malgré les grands besoins dans les zones climatiques contraignantes.

1.3.2. Principales actions publiques dans le domaine de l'efficacité énergétique

Depuis 2010, l'efficacité énergétique dans le bâtiment a connu de nombreux développements à travers divers programmes structurants présentés ci-dessous :

■ Programme national de code de l'efficacité énergétique dans les bâtiments résidentiels et renforcement de l'efficacité énergétique dans les bâtiments commerciaux et les hôpitaux au Maroc

Il a été mis en œuvre en 2010 par le ministère de l'Énergie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement et l'Agence marocaine de l'efficacité Énergétique (AMEE), en association avec les Ministères de l'Habitat, du Tourisme, de l'Éducation Nationale et de la Santé et avec le soutien du PNUD et du GEF. Ce programme s'est articulé autour des composantes ci-après :

- Estimation du potentiel d'EE dans les nouveaux bâtiments ;
- Élaboration du règlement général de construction fixant les performances énergétiques des bâtiments (RGC PE) et visant la réduction des besoins de chauffage et de climatisation d'environ 50% ;
- Normes d'EE dans les bâtiments ;
- Mise en place d'une plate-forme de formation et renforcement de capacités pour architectes, ingénieurs et techniciens ;
- Réalisation de projets pilotes.

■ Projet de démonstration EE dans le Bâtiment

L'Union Européenne a lancé en 2010, une initiative de soutien à la mise en œuvre du Code d'efficacité énergétique dans les bâtiments résidentiels et tertiaires, par le financement du surcoût de mesures d'efficacité énergétique dans le but d'en faire des projets démonstrateurs. Cette initiative avait pour objet l'identification des solutions d'efficacité énergétique à moindre coût et des obstacles à la mise en œuvre de ces solutions. L'appel à projets auprès d'opérateurs publics et privés a retenu 9 projets dont 6 ont été menés à terme. Les enseignements tirés de cette expérience ont porté sur l'impact de la réglementation thermique, l'adaptation des systèmes de chauffage d'eau solaire, les besoins en formation /sensibilisation et l'évaluation du marché des isolants. Ces enseignements sont développés au niveau du chapitre V.

■ Ligne marocaine de financement de l'énergie durable, MORSEFF

La Banque européenne de reconstruction et de développement (BERD) a mis en place le programme Morseff qui soutient l'investissement dans les énergies durables en milieu professionnel. La ligne de crédit est déployée à travers des banques nationales. Les projets financés doivent permettre 20% d'économie d'énergie et 20% de réduction de gaz à effet de serre. Les apports de ce programme sont :

- Accompagnement dans l'évaluation et la mise en œuvre des projets ;
- Prêts jusqu'à 50 M DH / leasing jusqu'à 10 M DH ;
- Subvention de 10% ou 15% ;
- Pré-qualification des équipements ;
- D'autres initiatives impactant les performances énergétiques dans les bâtiments sont résumées dans le tableau en page suivante.

Nom de l'initiative	Description	Mesures/activités
Programme INARA, Projets DSM, ONEE, Office national de l'Électricité et de l'Eau	Projet de remplacement de 15 millions de lampes incandescentes par des LBC et des LEDs. Initiatives telles que l'adoption de l'horaire d'été, l'aménagement de structures tarifaires incitatives, ou encore la mise en place de compteurs électriques bi-horaires pour la basse tension (en projet).	2007 - 2017, 15 millions de LBC installées, effacement de la demande aux heures de pointe estimée à 860 MW, une économie d'énergie d'environ 1 000 GWh/an. Adoption de l'horaire d'été (GMT + 1h). Nouvelles structures tarifaires (selon niveau consommation pour la basse tension et selon la période de consommation pour la MT et la HT).
Programme Mosquées et Bâtiments verts Ministère de l'Énergie, des Mines et du Développement Durable, AMEE, SIE, GIZ	Réhabilitation énergétique de mosquées et bâtiments administratifs. Les premières approches identifient un potentiel d'économie d'énergie de 40%.	2014-2020 - Mosquées : Diagnostics énergétiques, mise en place de solutions techniques pour l'éclairage, le chauffage d'eau sanitaire et l'auto production d'électricité par systèmes PV. - Accompagnement à la mise en place de système de management de l'énergie.
Instituts spécialisés de formations dans les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique (IFMEREE) Fédérations professionnelles : FENELEC, FIMME Ministères : MEMDD, Formation professionnelle MASEN et AMEE Avec le soutien de la GIZ, de l'UE et de l'AFD	Le projet consiste en l'implantation de 3 centres de formation initiale et continue de techniciens supérieurs spécialisés (Objectifs 1500 techniciens/an) dans les ER & EE à Oujda (opérationnel), Tanger (en phase de lancement), Quarzazate (en développement). Les filières concernées sont : Solaire thermique, solaire PV, éolien, biomasse, efficacité énergétique dans le bâtiment et l'industrie.	- Conception générale. - Construction des centres et aménagement. - Ingénierie de formation et équipements didactiques. - Assistance technique aux formateurs et aux gestionnaires. - Soutien au développement de partenariats.

Tableau 3 : Initiatives d'efficacité énergétique dans le bâtiment

Le graphe ci-après résume les principales actions menées au Maroc en matière d'efficacité énergétique.

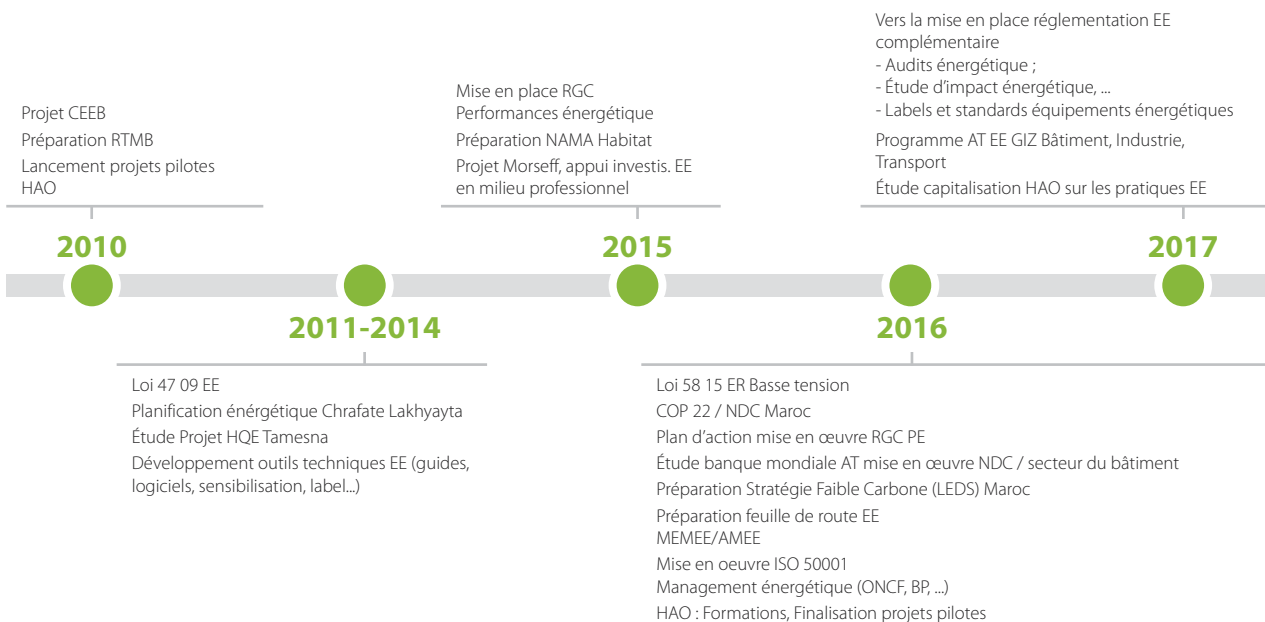


Figure 7 : Chronologie des principales actions

1.3.3. Enjeux et potentiels techniques d'économie d'énergie

Par capitalisation sur l'ensemble des activités d'efficacité énergétique dans le bâtiment menées au Maroc, les principaux potentiels d'économie d'énergie se situent au niveau de :

■ Déploiement de la réglementation thermique appliquée à l'enveloppe des bâtiments

Limiter les transferts thermiques (théoriques) de l'enveloppe à moins de 50 kWh/m² par an (modulable suivant la zone climatique) à comparer à des transferts thermiques de 100 kWh/m²/an pour la moyenne des logements actuels.

■ Amélioration de la qualité thermique des maisons marocaines par un processus de labellisation

Les maisons marocaines, généralement réalisées en auto-construction, sont un type d'habitat très prisé au Maroc. Il s'agit de promouvoir une politique globale permettant d'améliorer la qualité thermique dans ce type de construction.

■ Réhabilitation énergétique de logements existants

Sur les bâtiments existants, l'amélioration de la performance énergétique du bâti doit s'inscrire dans des programmes de réhabilitation de l'habitat, en particulier au niveau de zones climatiques contraignantes (continentales, montagneuses, oasiennes).

■ Étiquetage des performances des équipements énergivores

Étiquetage énergétique des réfrigérateurs, des lampes, des appareils électroménagers blancs (climatiseurs individuels, lave-linge, lave-vaisselle, chauffe-eau thermodynamiques) et bruns (téléviseurs, appareils multimédia et modems). L'étiquetage énergétique des équipements peut avoir un effet rapide d'orientation du marché vers des équipements performants. Les gains peuvent aller jusqu'à 50% sur les consommations annuelles.

■ Remplacement des lampes à incandescence par des lampes à basse consommation

Des progrès technologiques considérables ont été réalisés dans les performances des lampes, que ce soit à des fins d'éclairage domestique, industriel ou pour l'éclairage public. La consommation spécifique intrinsèque de la lampe a considérablement diminué, et a été divisée par un facteur de cinq en quelques années.

■ Déploiement des chauffe-eau solaires thermiques

Le développement du marché des chauffe-eau solaires s'inscrit dans la stratégie énergétique du Gouvernement, avec un objectif de déploiement de 1,7 Millions de m² à l'horizon 2030.

■ Développement d'un programme de déploiement de toitures photovoltaïques

Le Maroc bénéficie d'un ensoleillement généreux. Il suffit de 6 à 7 m² de panneaux photovoltaïques installés en toiture pour obtenir une quantité d'électricité équivalente à la consommation électrique moyenne actuelle d'un ménage (1 600 kWh/an).

La stratégie nationale vise un déploiement des installations solaires photovoltaïques connectées aux réseaux basse tension d'une capacité totale de 1 000 MWC à l'horizon 2030.

■ Développement des audits énergétiques

Les mesures de réhabilitation énergétique des bâtiments et des équipements existants requièrent une connaissance approfondie de leur état énergétique.

La réalisation systématique d'audits et diagnostics par des personnels préalablement qualifiés et certifiés conduira à hiérarchiser les priorités dans la conduite des actions de réhabilitation des installations ou de renouvellement des équipements.

1.3.4. Principales barrières et contraintes

■ Les barrières économiques

- Impact des surcoûts sur la compétitivité des produits immobiliers, l'exploitation est rarement intégrée dans les analyses économiques des projets.
- Coût d'investissement initial jugé élevé, 5% en moyenne pour les solutions passives et plus de 10% avec l'intégration des solutions actives.

■ Les barrières réglementaires et institutionnelles

- L'encadrement de l'auto construction par rapport à l'efficacité énergétique.
- Difficultés de mise en œuvre de la réglementation (non appropriation par les maîtrises d'ouvrages, concentration des compétences sur l'axe Rabat – Casablanca, ...).
- Faible déclinaison du dispositif réglementaire existant à l'échelon du territoire.

■ Les contraintes techniques

- Insuffisance de ressources humaines formées par rapport au besoin en compétences et services de qualité.
- Déficit au niveau normatif (standards, certification, agrément, ...) et en contrôle de conformité y afférent.
- Absence d'exigence en la matière chez les consommateurs.

2

Cadre législatif, institutionnel et réglementaire de l'efficacité énergétique au Maroc

2.1. Réglementation de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables

Loi cadre n° 99-12 portant la charte nationale de l'environnement et du développement durable, 2014

- Énonce les droits et devoirs inhérents à l'environnement et au développement durable.
- Renforce la protection juridique des ressources et des écosystèmes.
- Consacre le développement durable en tant que valeur fondamentale partagée par l'ensemble des composantes de la société.
- Définit les responsabilités et les engagements des parties concernées - État, collectivités territoriales, établissement et entreprises publics, entreprises privées, associations de la société civile et citoyens.
- Prévoit les mesures d'ordre institutionnel, économique et financier dans le but d'instaurer un système de gouvernance environnementale.

Loi n° 47-09 relative à l'efficacité énergétique, 2011

Institue la notion de performance énergétique pour l'ensemble des secteurs économiques. Elle prévoit la mise en place de :

- Code Énergétique du Bâtiment : en vue de fixer les règles de performance énergétique des constructions par zones climatiques en traitant, notamment, l'orientation, l'éclairage, l'isolation et les flux thermiques, ainsi que les apports en énergie renouvelable ;
- Performances énergétiques minimales des équipements : Les appareils et équipements fonctionnant à l'électricité, au gaz naturel, aux produits pétroliers liquides ou gazeux, au charbon et aux énergies renouvelables, proposés à la vente sur le territoire national doivent respecter des performances énergétiques minimales fixées par voie réglementaire ;
- Étude d'impact énergétique obligatoire pour tout projet de programme d'aménagement urbain ou tout projet de programme de construction de bâtiments ;
- Audit énergétique obligatoire pour les établissements, les entreprises et les personnes physiques dont la consommation annuelle d'énergie thermique et/ou électrique dépasse un seuil spécifique.

Décret d'application de la loi n° 47-09, Règlement général de construction fixant les performances énergétiques des constructions, 2015

Ce règlement a pour objet la réduction des besoins de chauffage et de climatisation pour l'ensemble des nouveaux bâtiments résidentiels et tertiaires. Il adopte une approche prescriptive pour les bâtiments présentant des taux d'ouvertures (rapport de la surface des baies vitrées sur la surface totale des façades) inférieurs à 45% et une approche performancielle pour les autres bâtiments. Les prescriptions techniques portent sur les coefficients de transfert thermiques des parois des bâtiments. Pour l'obtention du permis de construire, le maître d'ouvrage est tenu de remettre une Fiche technique relative aux performances thermiques du bâtiment en projet prouvant le respect de la réglementation.

Projet de décret d'application de la loi n° 47-09, Audits énergétiques obligatoires

Le décret prévoit :

- Des audits énergétiques obligatoires et périodiques à partir d'une consommation annuelle de 1 500 TEP pour le secteur industriel et 500 TEP pour le secteur tertiaire, y compris également les établissements et entreprises de production, de transport et de distribution d'énergie ;
- L'accréditation des auditeurs, la périodicité et le contrôle des audits énergétiques ;
- La soumission obligatoire des rapports et résultats des audits à l'administration ;
- Lorsque les contrôles effectués font apparaître que les consommateurs soumis à l'audit énergétique obligatoire n'ont pas procédé à la réalisation dudit audit ou n'ont pas mis en œuvre les mesures et actions inscrites dans leurs plan d'efficacité énergétique, l'administration peut, après les avoir mis en mesure de présenter leurs observations, leur adresser une mise en demeure pour procéder dans un délai qu'elle fixe, aux aménagements et travaux nécessaires destinés à rétablir la situation ou à corriger leurs pratiques.

Projet de décret d'application de la loi n° 47-09, relatif aux seuils des performances à l'étiquetage énergétiques des équipements

Il annonce l'obligation du respect des exigences de performances minimales et d'étiquetage énergétiques des équipements et appareils mis à la vente sur le territoire national.

Pour chaque équipement et appareil, un arrêté conjoint fixera :

- Les exigences, en termes de seuils de performances énergétiques minimales et en matière d'informations nécessaires justifiant sa conformité, qu'il doit satisfaire avant sa mise sur le marché ;
- Les classes d'efficacité énergétique ;
- Les projets de Décrets préciseront les dates d'entrée en vigueur effective de l'exigence obligatoire et spécifieront le processus d'évaluation de la conformité conformément aux dispositions de la loi 12-06 susvisée ;
- Tout producteur, importateur et distributeur doit s'assurer que tous les équipements et appareils qu'il met à disposition sur le marché national sont en conformité avec les dispositions prévues dans les arrêtés.

Projet de décret d'application de la loi n° 47-09, Études d'impact énergétique

Le projet de décret prévoit l'obligation d'étudier les impacts énergétiques de tout nouveau programme d'aménagement urbain et tout nouveau programme de construction. Il s'agit de planifier la consommation énergétique qui sera générée et d'apporter les améliorations qui permettent de s'aligner sur la politique ER et EE du pays. L'étude d'impact énergétique comporte :

- Une description des principales composantes du projet, ses caractéristiques et les étapes de sa réalisation et les ressources d'énergie utilisées ;
- Une évaluation des besoins énergétiques durant les phases de réalisation, d'exploitation ou de développement du projet ;
- Les mesures envisagées pour réduire la consommation d'énergie, par les mécanismes visant à mettre en valeur et à améliorer l'efficacité énergétique, ainsi que par la valorisation des potentiels des énergies renouvelables réalisables conformément à la législation en vigueur ;
- Un programme de surveillance et de suivi du projet ainsi que les mesures envisagées en matière de formation, de communication et de gestion en vue d'assurer son exécution, son exploitation et son développement.

Loi n° 13-09 relative aux énergies renouvelables, 2010

Cette loi libéralise le secteur de l'électricité produite par les ER :

- Autorise la production de l'énergie à partir des ER par toute personne physique ou morale ;
- Déclare les installations ER libres jusqu'à 20 kW électrique et 8 MW thermique, selon le principe de déclaration jusqu'à 2 MW et d'autorisation pour les plus grandes puissances ;
- Instaure le droit d'accès au réseau THT, HT, MT sur avis du gestionnaire du réseau ; ce droit est étendu à la basse tension par Loi 58-15 (2016) ;
- Prévoit l'option de l'exportation de l'électricité produite par les ER ;
- Permet la commercialisation de l'électricité à travers l'ONE vers un consommateur ou un groupement de consommateurs.

Loi n° 58 - 15 modifiant et complétant la loi n° 13-09, 2016

- Augmentation du seuil de la puissance installée pour les projets d'énergie de source hydraulique de 12 à 30 MW ;
- Possibilité de vente de l'excédent d'énergie renouvelable produite à l'ONEE et aux distributeurs (20% max de la production annuelle) ;
- Ouverture du marché électrique de sources renouvelables de la Basse Tension (BT)

Loi n° 12-06 relative à la normalisation, à la certification et à l'accréditation, 2010

La loi porte sur la réglementation des processus de la normalisation, de la certification et de l'accréditation des laboratoires de contrôle ainsi que sur la création de l'Institut marocain de normalisation (IMANOR).

Norme NM 14.2.300 relative à l'étiquetage des produits électriques et des appareils électroménagers 2012

Les équipements concernés sont les appareils de froid (réfrigérateurs, congélateurs et climatiseurs), les appareils de cuisson (fours électriques), les appareils de ménage (machines à laver le linge et la vaisselle, sèche-linge) et les lampes électriques domestiques (lampes à incandescence et lampes fluorescentes avec et/ou sans ballast intégré).

Cette norme a été révisée en 2018, accompagnée des normes spécifiques 14.2.301 et 14.2.302 pour rendre opérationnelle la labellisation des réfrigérateurs et des climatiseurs, respectivement.

2.2. Règlement Général de Construction fixant les performances énergétiques de bâtiments

Le Règlement général de construction fixant les règles de performance énergétique des constructions a pour objet de fixer les caractéristiques thermiques que doivent respecter les bâtiments par zone climatique, afin d'atteindre les résultats suivants :

- Réduire les besoins en chauffage et en climatisation des bâtiments ;
- Améliorer le confort thermique au sein des bâtiments ;
- Participer à la baisse de la facture énergétique nationale ;
- Réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Ledit règlement s'applique aux bâtiments résidentiels et tertiaires à édifier, à l'exception de l'habitat individuel rural, et permet de produire une nouvelle génération de constructions plus respectueuses de l'environnement, avec une meilleure utilisation des techniques de l'efficacité énergétique dans le bâtiment.

2.2.1. Zonage climatique

Pour les besoins de la réglementation thermique, un zonage climatique a été réalisé en analysant les données horaires climatiques annuelles enregistrées par 37 stations météorologiques sur la période de 1999-2008 (10 ans), sur la base des résultats de simulations des besoins thermiques annuels de chauffage et de climatisation des bâtiments dans onze villes marocaines représentatives. L'élaboration du zonage climatique a été effectuée selon le critère du nombre de degrés jours d'hiver et le nombre de degrés jours d'été.

Deux types de zonage ont été établis :

- Un zonage sur la base des degrés jours de chauffage à base 18°C ;
- Un zonage sur la base des degrés jours de climatisation à base 21°C.

Degré-jours de chauffage : Mesure de la différence entre la température moyenne d'un jour donné par rapport à une température de référence et qui exprime les besoins en chauffage domestique. La température de référence utilisée est 18°C puisqu'en moyenne, quand la température extérieure tombe sous cette barre, on doit chauffer l'intérieur pour y maintenir une température agréable. Lorsque la température extérieure est 18°C les gains internes peuvent augmenter la température intérieure au-dessus de 20°C et on n'a pas besoin de chauffer.

Degré-jours de climatisation : Identique au degré-jour de chauffage mais mesure les besoins en climatisation domestique au cours des mois chauds d'été par rapport à une température de référence. La température de référence utilisée est 21°C. Lorsque la température extérieure est 21°C les gains internes peuvent augmenter la température intérieure au-dessus de 24°C/26°C et impliquent des besoins de climatisation.

Le territoire marocain a été subdivisé en six zones climatiques homogènes et circonscrites : Zone 1, Zone 2, Zone 3, Zone 4, Zone 5 et Zone 6.

La carte suivante représente le zonage climatique adopté pour la réglementation thermique dans le bâtiment au Maroc.

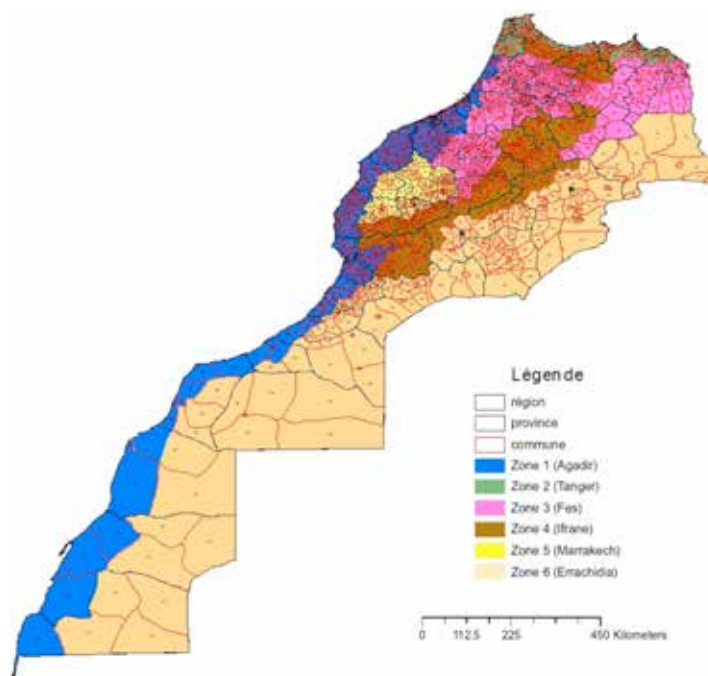


Figure 8 : Carte de zonage climatique du Maroc adaptée aux besoins du RGC PE

2.2.2. Prescriptions techniques

Les spécifications techniques minimales des performances thermiques sont exprimées, pour chaque zone climatique et chaque type de bâtiment (bâtiment résidentiel ou bâtiment tertiaire), en deux approches distinctes : une approche globale dite performancielle, et une approche simplifiée dite prescriptive.

On entend par :

- **Bâtiment résidentiel**, tout bâtiment dont les espaces réservés à l'habitation constituent plus que 80% de sa surface utile de planchers ;
- **Bâtiment tertiaire**, tout bâtiment relevant des secteurs suivants : tourisme, santé, éducation et enseignement, administration, commerce et service.

Une fiche technique d'identification du projet, précisant les performances thermiques du bâtiment selon l'approche choisie, doit être établie par le maître d'oeuvre concepteur du projet conformément au modèle fixé en annexe du règlement.

2.2.3. L'approche performancielle

L'approche performancielle consiste à fixer les spécifications techniques minimales en termes de performances thermiques du bâtiment. Celles-ci sont évaluées à travers les besoins énergétiques annuels du bâtiment, liés au confort thermique. Ces besoins correspondent aux besoins calorifiques et/ou frigorifiques du bâtiment indépendamment du type d'installations de chauffage et/ou de refroidissement utilisées. Ils correspondent à la somme annuelle des sollicitations thermiques qu'impose le bâtiment à ses installations pour satisfaire les besoins de confort thermique de ses occupants.

Les besoins annuels de chauffage et/ou de refroidissement du bâtiment sont calculés par des logiciels de simulation énergétique de bâtiments ou par des outils informatiques simplifiés, en utilisant des températures de référence pour le chauffage et la climatisation : 20°C en hiver et 26°C en été.

Les besoins énergétiques spécifiques annuels du bâtiment, liés au confort thermique (BECh) sont déterminés selon la formule suivante :

$$BECh = BECh + BRe f / STC$$

On entend par :

- **BECh** : besoins énergétiques annuels liés au confort thermique d'un bâtiment exprimés en kWh/ (m².an);
- **BECh** : Besoins énergétiques annuels pour le chauffage exprimés en kWh/an et calculés sur la période d'hiver pour une température intérieure de base Tch=20°C ;
- **BRe f** : Besoins énergétiques annuels pour le refroidissement exprimés en kWh/an et calculés sur la période d'été pour une température intérieure de base Tref = 26°C ;
- **STC** : Surface totale habitable conventionnellement conditionnée exprimée en m² et égale à la somme des surfaces des planchers hors d'œuvre.

Les spécifications techniques minimales des performances thermiques des bâtiments sont fixées par le règlement conformément à l'approche performancielle comme suit :

Zones	Besoins spécifiques thermiques annuels maximaux de chauffage et de climatisation des bâtiments au Maroc en kWh/m ² /an				
	Résidentiels	Enseignement	Santé	Tourisme	Autre(*)
Z1	40	44	72	48	45
Z2	46	50	73	52	49
Z3	8	61	68	66	49
Z4	64	80	47	34	35
Z5	61	65	92	88	56
Z6	65	67	93	88	58

(*) Autre : tous les autres types des bâtiments tels que : bureau, commerce, administration, service et autres bâtiments publics.

Tableau 4 : Besoins spécifiques thermiques annuels de chauffage et climatisation des bâtiments au Maroc

2.2.4. L'approche prescriptive

L'approche prescriptive consiste à fixer les spécifications techniques limites acceptables en terme de caractéristiques thermiques des parois de l'enveloppe du bâtiment et ce, en fonction du type de bâtiment, de la zone climatique et du taux global des baies vitrées TGBV des espaces chauffés et/ou refroidis. Ces spécifications techniques peuvent être calculées par des logiciels de simulation énergétique de bâtiments ou par des outils informatiques simplifiés.

Dans le cas où le TGBV est inférieur à 45% de la surface des murs extérieurs, les deux approches performancielle et perspective sont applicables. L'approche prescriptive ne s'applique pas dans le cas où le TGBV est supérieur à 45% de la surface des murs extérieurs.

Les caractéristiques thermiques des parois de l'enveloppe d'un bâtiment correspondent aux coefficients de transmission thermique (U) des toitures, des murs extérieurs, des planchers sur pilotis et des baie vitrées ainsi qu'au facteur solaire équivalent (FS*) des baies vitrées et à la résistance thermique (R) des planchers sur sol plein.

3

Notions de bases de l'efficacité énergétique dans le bâtiment

3.1. Notions de base

Le bâtiment est un gros consommateur d'énergie.

- Le chauffage et/ou le refroidissement, pour assurer un climat intérieur confortable ;
- La circulation de fluides tels que l'air (ventilation), l'eau (eau chaude, chauffage) ;
- Les transports (ascenseurs) ;
- L'éclairage ;
- Les communications (téléphone, radio, télévision) ;
- La production de biens (cuisines, couture, etc.).

Un bâtiment devrait assurer, sans aucune consommation d'énergie, un confort au moins équivalent à celui régnant à l'extérieur. Suivant la conception, la consommation varie énormément : Un indice souvent utilisé pour comparer la consommation d'énergie des bâtiments est l'Indice de Dépense d'Énergie, ou IDE. On obtient cet indice en divisant la consommation annuelle d'énergie totale (de tous les agents énergétiques) exprimée en MJ (ou en kWh) par la surface brute de plancher chauffé (murs inclus).

Besoins de l'occupant

- Confort : État de bien-être général.
- Qualité de l'air : Absence de pollution.
- Aération : Assurer un environnement intérieur confortable.

Le confort dépend des paramètres suivants :

- **Conditions thermiques** : Température de l'air, sources de rayonnement (radiateurs, poêles, soleil), température des surfaces environnantes, perméabilité thermique des surfaces en contact avec le corps.
- **Qualité de l'air** : Vitesse relative de l'air par rapport au sujet, humidité relative de l'air, pureté ou pollution de l'air, odeurs.
- **Acoustique** : Niveau de bruit, nuisance acoustique, temps de réverbération (durée d'écho).
- **Visuel** : Éclairage naturel et artificiel, couleurs, volumes intérieur et distribution des volumes.
- **Autres influences** : Degré d'occupation des locaux, etc...

Le confort est une sensation physiologique faisant intervenir plus d'un paramètre. Le confort thermique ne tient compte que des paramètres suivants :

- Les facteurs liés à l'individu :
 - Son activité et le rendement de cette activité.
 - Son habillement.
- Les facteurs liés à l'environnement :
 - Températures de l'air et des surfaces environnantes.
 - Vitesse relative de l'air et le degré de turbulence.
 - Pression de vapeur d'eau ou humidité relative.

Qualité de l'air : Un air de bonne qualité ne contient pas d'impuretés en quantités gênantes ou dangereuses pour les occupants.

Aération : Le but de l'aération est d'assurer un environnement intérieur confortable, maintenant les occupants en bonne santé.

3.2. Volet passif

Isolation thermique

Qualité d'isolant thermique :

- Résistance au feu.
- Résistance mécanique (traction et compression).
- Étanchéité à l'air.
- Résistance à la diffusion de vapeur d'eau.
- Faible absorption d'eau par immersion, par flottaison et par diffusion.
- Stabilité dimensionnelle et comportement à la chaleur.
- Qualités acoustiques.
- Prix.

Types d'isolants :

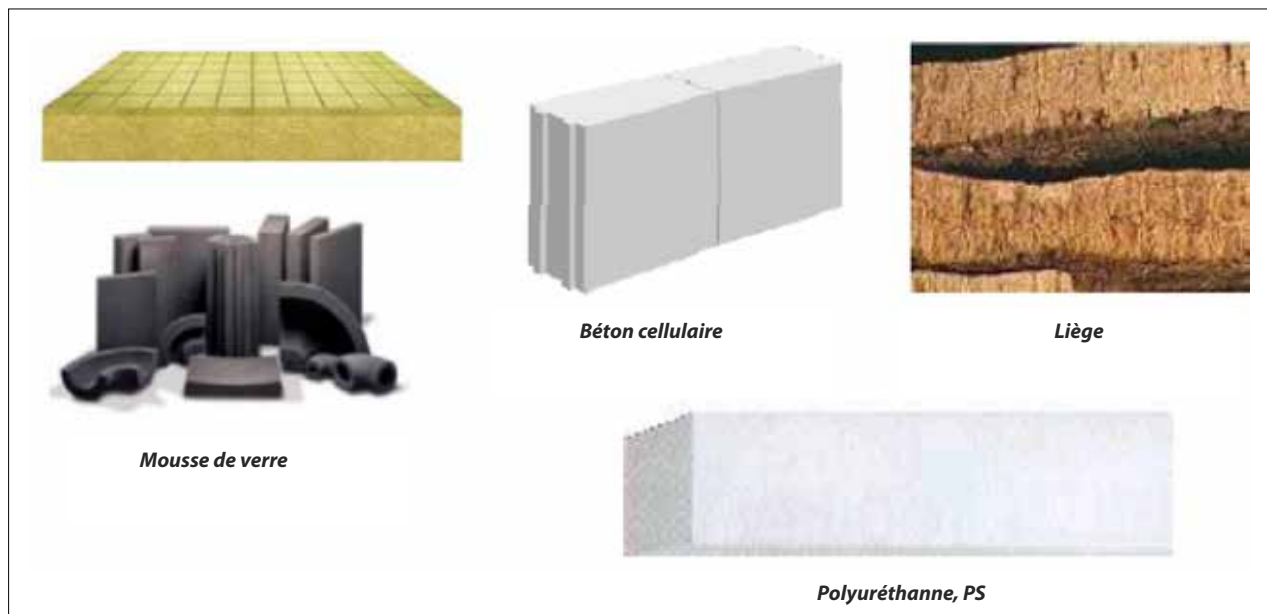


Figure 9 : Types d'isolants

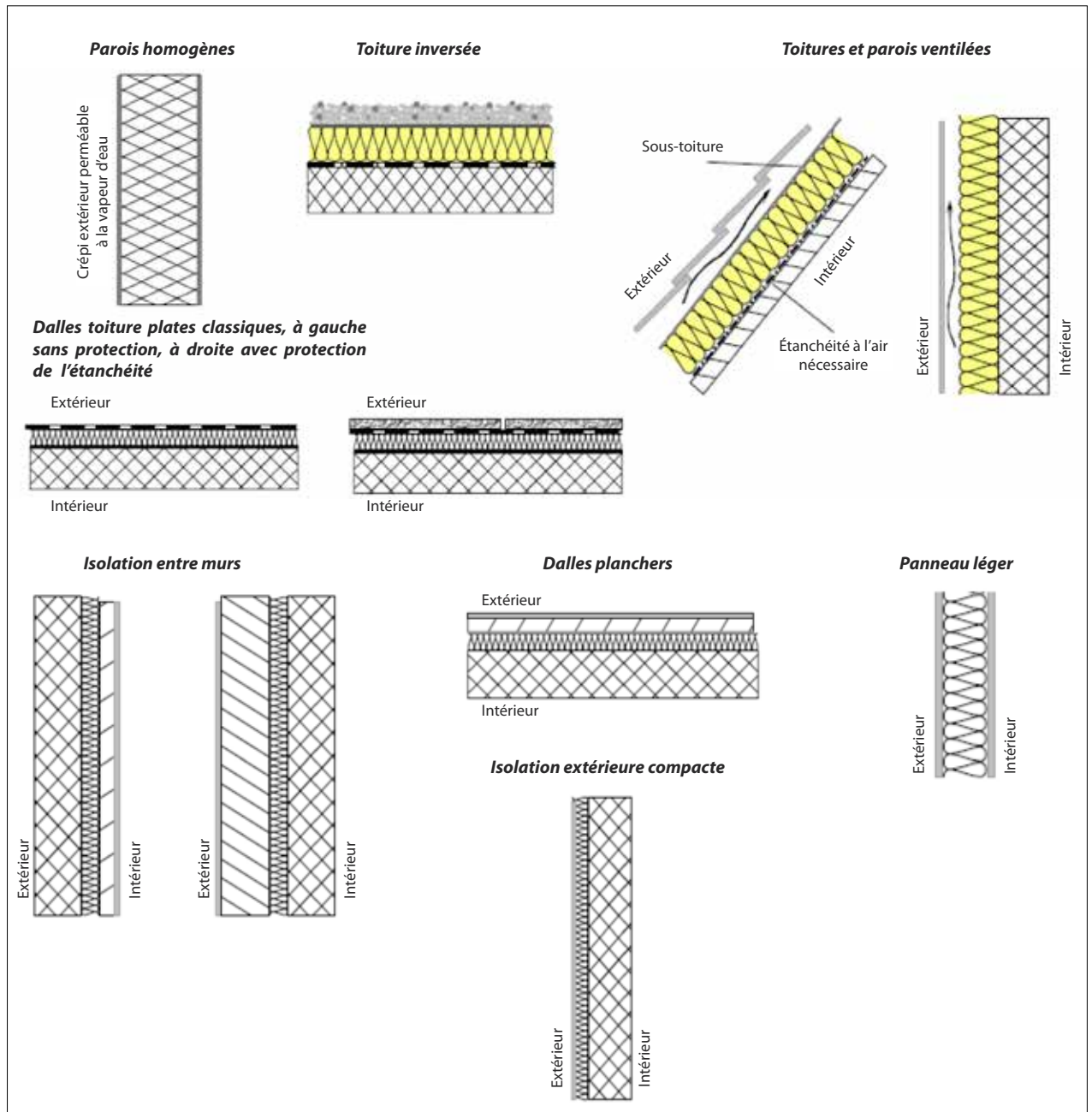
Applications des isolants thermiques :

Figure 10 : Applications des isolants thermiques

Ponts thermiques

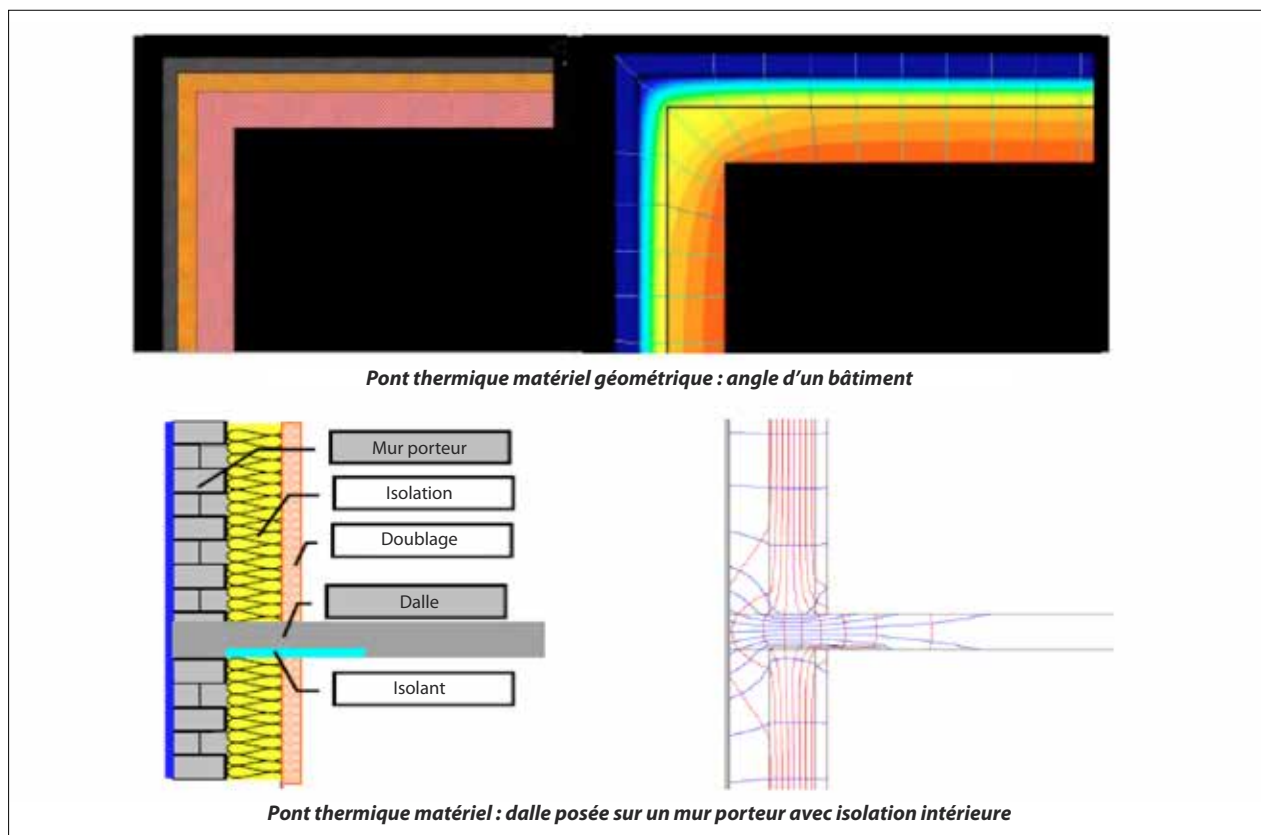


Figure 11 : Les ponts thermiques

Les ponts thermiques doivent être évités, mais cela n'est pas toujours possible et dans ce cas, il faut en tenir compte dans le bilan thermique du bâtiment.

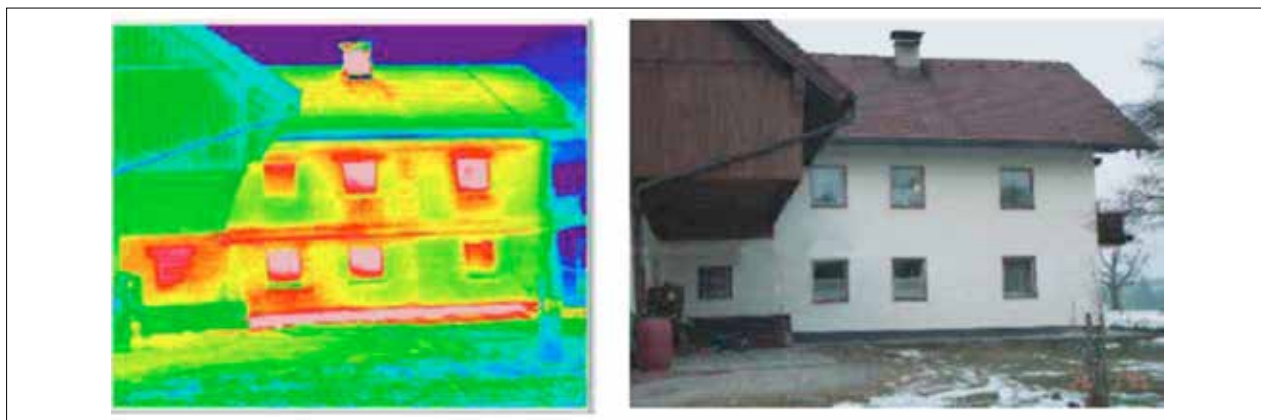


Figure 12 : Thermographie

Certains ponts thermiques, tels que les cadres de portes et fenêtres, les supports de balcons, les raccords entre éléments d'enveloppe sont inévitables.

Comment éviter les ponts thermiques ?

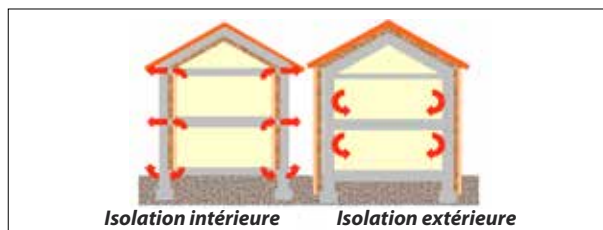


Figure 13 : Isolation thermique (intérieure et extérieure)

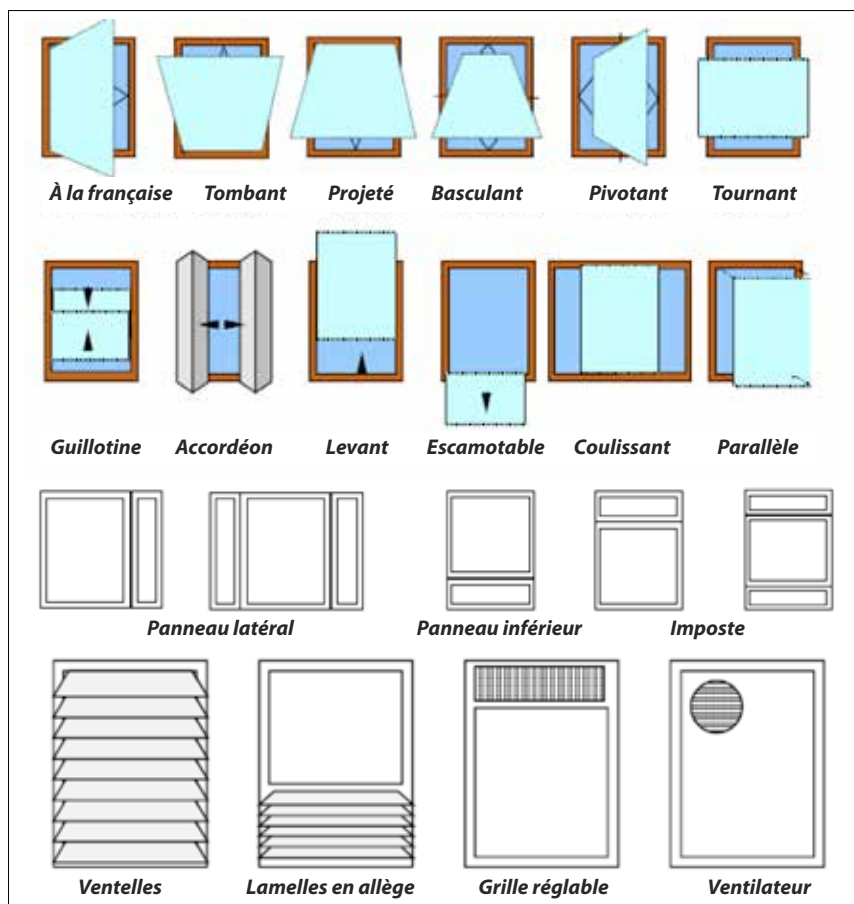


Figure 14 : Ouvertures de ventilations et ouvrants

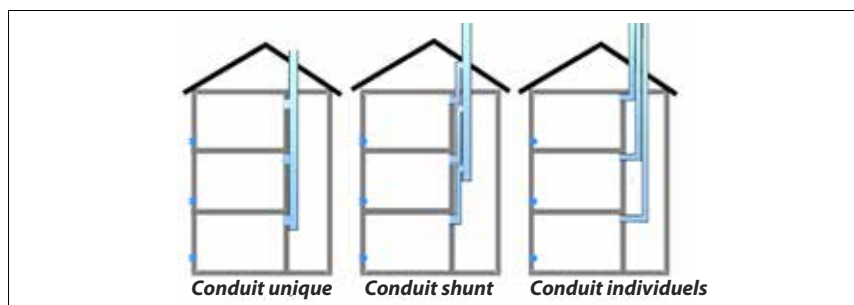


Figure 15 : Conduits de ventilation naturelle

Aération

L'aération influence au moins quatre domaines de la physique des bâtiments :

- La qualité de l'air et en conséquence la santé des occupants ;
- Les déperditions de chaleur, donc la consommation d'énergie ;
- Les problèmes de condensation interne et superficielle, donc la durabilité du bâtiment ;
- Le confort thermique, notamment les courants d'air.

Apports d'énergie solaire

Les principes du chauffage solaire passif sont illustrés ci-après :

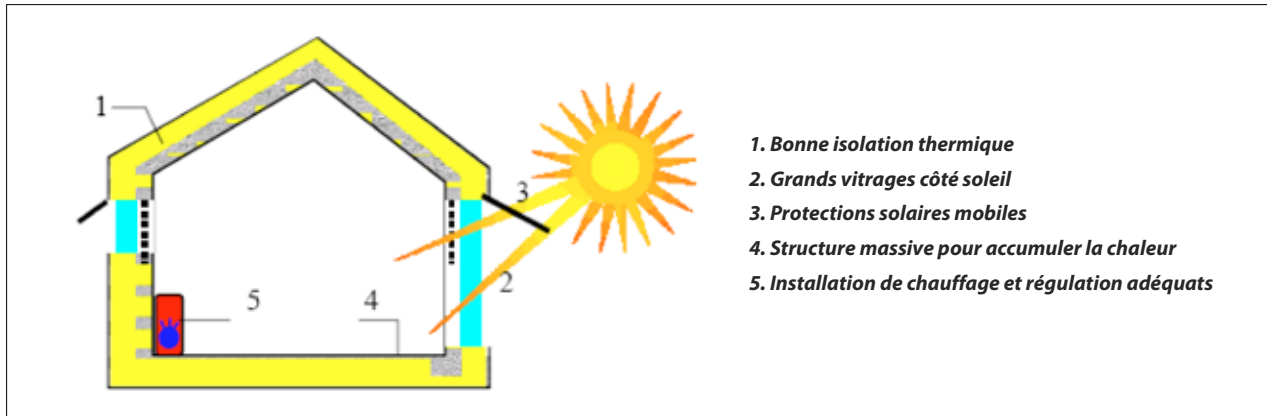


Figure 16 : Principes du chauffage solaire passif

3.3. Volet actif

Les installations de chauffage, de climatisation et de ventilation (CVC) sont destinées à contrôler la température, la qualité d'air et parfois l'humidité pour apporter un environnement intérieur adapté à l'activité des occupants. Ces installations représentent une part importante de la consommation énergétique des bâtiments résidentiels et tertiaires.

Les chaudières

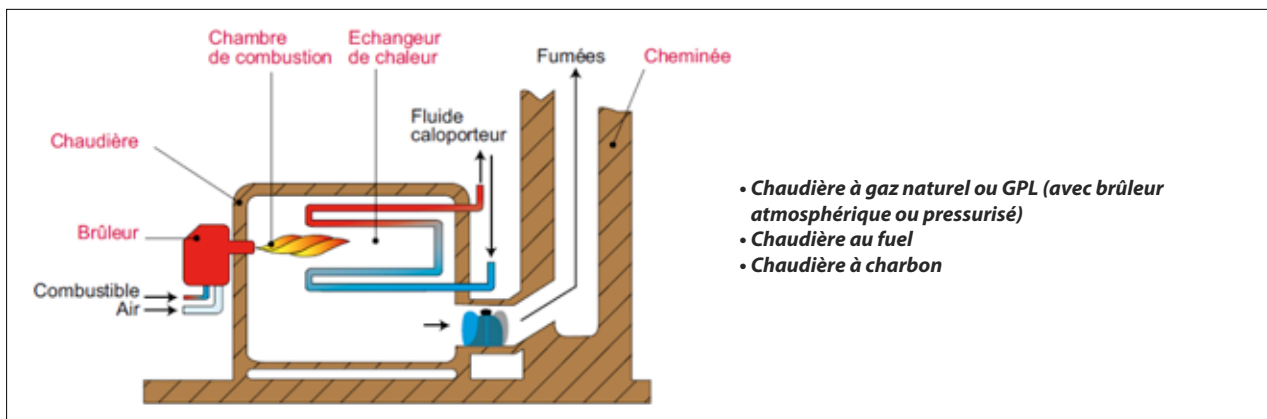


Figure 17 : Coupe schématique d'une chaudière

La performance énergétique d'une chaudière est exprimée par son rendement calorifique, défini comme étant le rapport de l'énergie utile fournie par la chaudière sur le pouvoir calorifique total du combustible consommé.

Dans le cas d'une chaudière à eau chaude, le rendement instantané d'une chaudière peut être exprimé comme suit :

$$\eta = \frac{\dot{m} C_p (T_s - T_e)}{Q_{\text{fuel}} \text{PCI}}$$

\dot{m} :	débit massique de l'eau chauffée [kg]
C_p :	capacité calorifique de l'eau chauffée [kJ/°C·kg]
T_e :	température d'entrée de l'eau chauffée [°C]
T_s :	température de sortie de l'eau chauffée [°C]
Q_{fuel} :	débit massique de fuel [kg/h]
PCI :	pouvoir calorifique inférieur [kJ/kg]

Figure 18 : Performance énergétique d'une chaudière

Les pompes à chaleur

Une pompe à chaleur (PAC) est une machine thermique permettant d'utiliser de l'énergie mécanique (pompes à compresseur) ou thermique (pompes à absorption) pour soutirer de la chaleur à basse température d'un milieu (environnement par exemple) dit "source froide" et de la restituer à une température plus élevée, la rendant utilisable pour les besoins domestiques (chauffage et eau chaude).

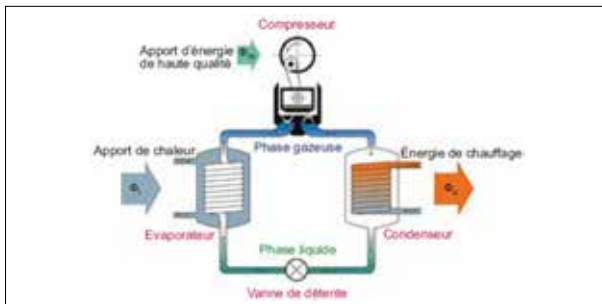


Figure 19 : Schéma de principe d'une pompe à chaleur en mode chauffage

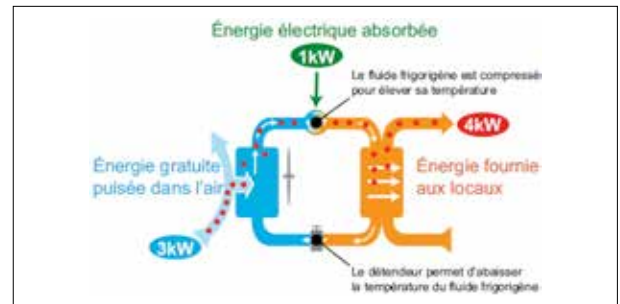


Figure 20 : Transfert d'énergie d'une PAC en mode chauffage

La pompe à chaleur peut être réversible pour fournir de la chaleur en hiver et du froid en été : On distingue trois types d'unités, en fonction de la nature des milieux concernés par l'échange thermique, air ou eau (air/air, air/eau ou eau/eau).

Performance énergétique d'une pompe à chaleur

Les performances énergétiques minimales des installations de climatisations sont données ci-après :

- En mode refroidissement par l'Efficacité Énergétique (**EER** : Energy Efficiency Ratio). Le niveau d'efficacité énergétique (EER) est calculé comme suit :

$$\text{EER} = \frac{\text{Puissance totale de refroidissement}}{\text{Puissance électrique absorbée}}$$

- En mode chauffage par le coefficient de performance (**COP** : Coefficient of Performance). Le coefficient de performance (COP) est calculé comme suit :

$$\text{COP} = \frac{\text{Puissance calorifique}}{\text{Puissance électrique absorbée}}$$

Performances énergétiques minimales

Les dispositions ci-dessus s'appliquent aux appareils de climatisation de confort de puissance frigorifique inférieure à 20 kW (équivalent à 68 242 Btu/h), fonctionnant exclusivement à l'énergie électrique. Ces appareils couvrent tous les types d'appareils de climatisation fixes ou mobiles : appareils split et multi-split et appareils monoblocs.

Catégorie	Mode de fonctionnement	Climatiseurs split et multi-split	Climatiseurs monoblocs
Climatiseurs à condensation par air	Refroidissement	EER > 2,8	EER > 2,6
	Chauffage	COP > 3,2	COP > 3,0
Climatiseurs à condensation par eau	Refroidissement	EER > 3,1	EER > 3,8
	Chauffage	COP > 3,2	COP > 3,0

Tableau 5 : Performances énergétiques minimales des pompes à chaleur

Les équipements de ventilation mécanique contrôlée VMC

La VMC permet d'assurer les débits de ventilation nécessaires aux besoins hygiéniques des occupants par des moyens mécaniques. Il existe deux types : simple flux et double flux.

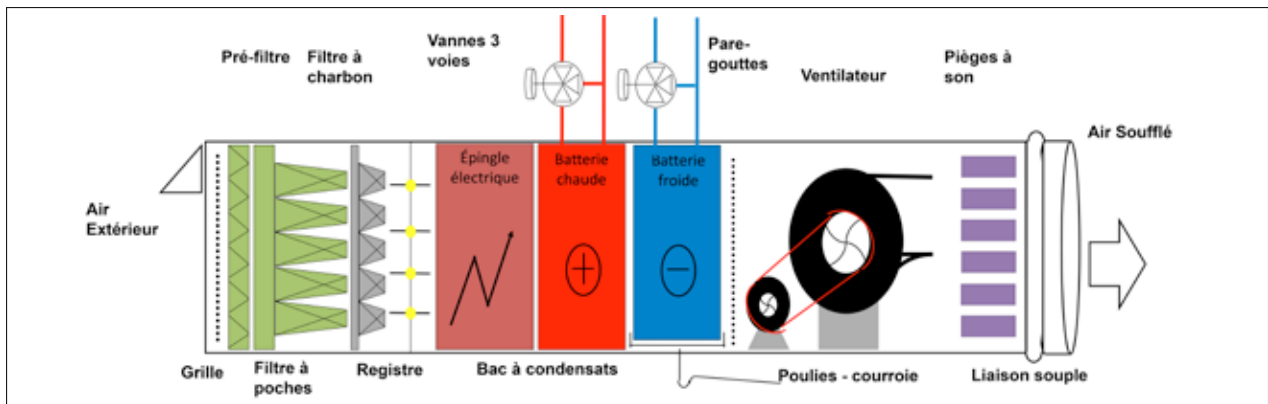


Figure 21 : Centrale de traitement d'air (simple flux)

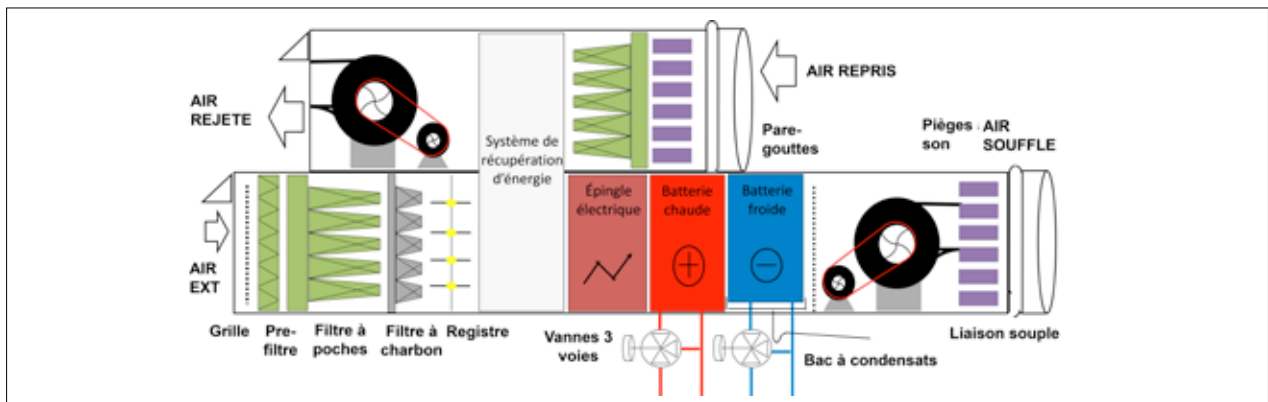


Figure 22 : Centrale de traitement d'air (double flux)

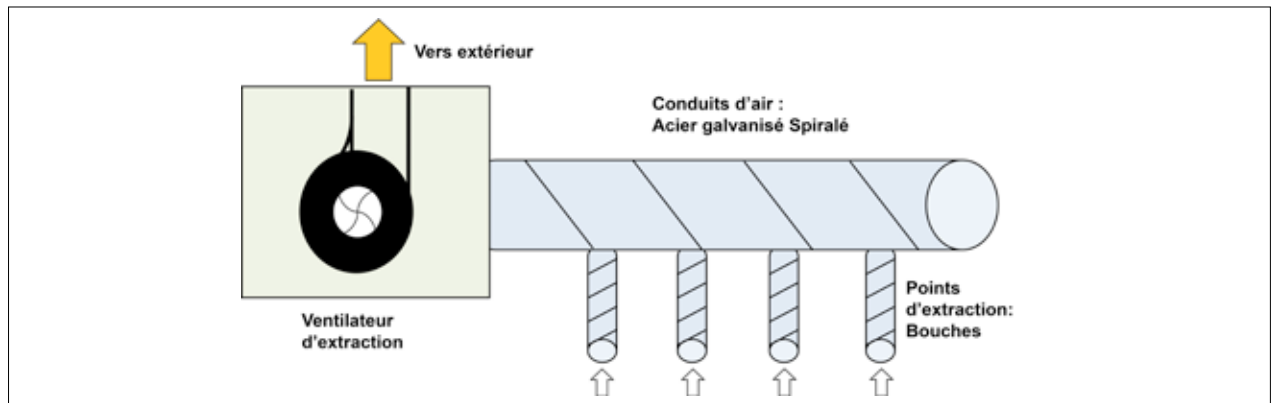


Figure 23 : Extraction d'air

Le solaire thermique

Les panneaux solaires thermiques : Le panneau solaire thermique consiste à capter la chaleur du soleil pour produire de l'eau chaude ou du chauffage. Ces panneaux sont plus répandus, car ils sont plus basiques.

Le panneau solaire thermique est constitué d'un capteur de chaleur, cette chaleur captée sera transmise au fluide caloporteur situé dans des tubes. Ces tubes dirigent le fluide vers un système de gestion et de répartition de l'énergie thermique solaire.

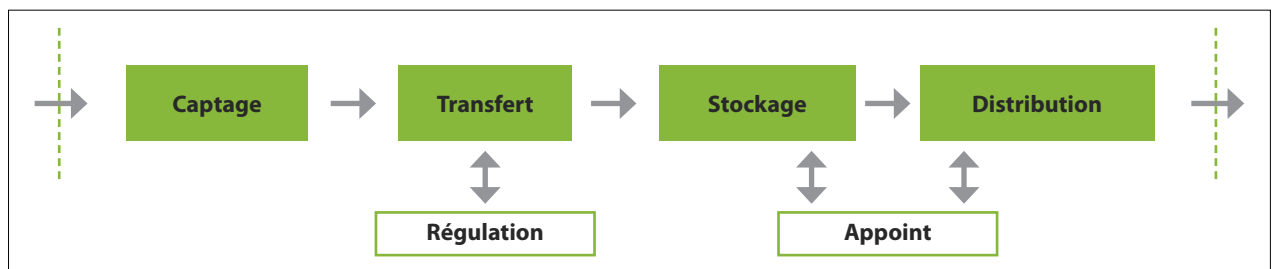


Figure 24 : Principes du solaire thermique

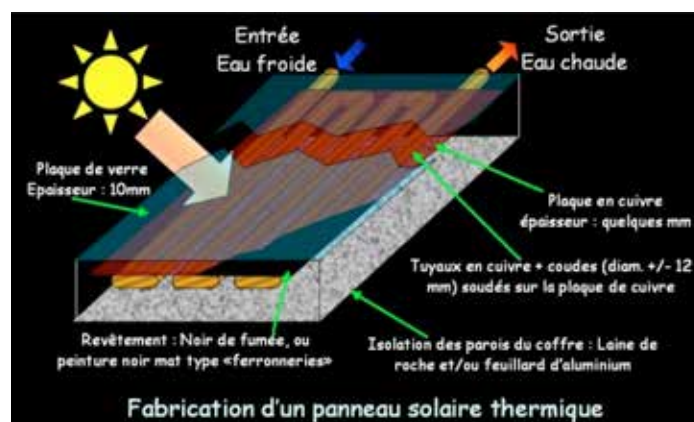


Figure 25 : Principes de fonctionnement d'un capteur solaire

Les composants d'un système chauffage solaire pour l'ECS sont illustrés sur le graphe ci-après :

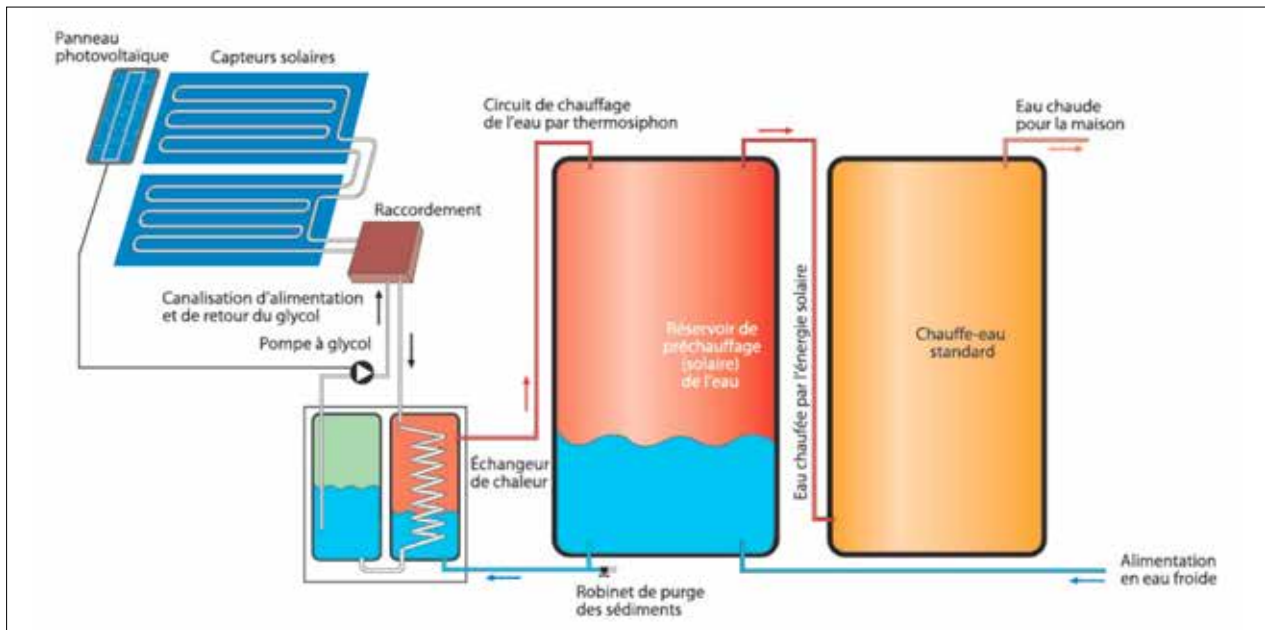


Figure 26 : Composants d'un système de chauffage solaire (ECS)

La gestion technique des bâtiments (GTB)

Le rôle de la GTB est d'assurer l'équilibre entre le confort humain désiré – qui doit être MAXIMAL, et l'énergie utilisée pour obtenir ce but – qui doit être MINIMAL !

La gestion technique des équipements permet :

- La détection et la gestion des alarmes ;
- La mesure, l'acquisition et le conditionnement des données ;
- La détection et l'enregistrement des événements et des changements d'états ;
- L'automatisation d'actions ;
- L'action à distance par télégestion.



Figure 27 : GTB : Champs d'application

Le domaine d'application concerne plusieurs aspects :

- Le confort : chauffage, ventilation, climatisation, éclairage, stores électriques, ...
- La sécurité : contrôle d'accès, synthèses incendie, vidéo-surveillance, ...
- Les énergies : électricité, gaz, eau, eau glycolée, vapeur, ...
- La gestion des lots techniques : tableaux divisionnaires, synthèses ascenseurs, plomberie, Arrosage, ...

L'éclairage

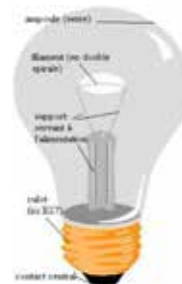
Quelques notions :

- **Flux lumineux** : On appelle flux lumineux la quantité totale de lumière émise par une source lumineuse dans toutes les directions de l'espace. Il s'exprime en lumens (symbole : lm).
- **Éclairement** : L'éclairement est le rapport entre le flux lumineux reçu par un élément de la surface et l'aire de cet élément. Il est exprimé en lux (symbole : lx) ou lumen/m² (lm/m²).
- **L'indice de rendu des couleurs (IRC)** : Cet indice définit l'aptitude d'une lampe à nous faire distinguer toutes les couleurs. Il est mesuré sur une échelle de 0 (médiocre) à 100 (parfait). Une source caractérisée par un bon indice de rendu des couleurs émet une lumière contenant toutes les couleurs (donc toutes les longueurs d'onde) du spectre visible, restituant ainsi la couleur réelle des objets. A contrario, une source monochromatique émet une lumière ne contenant qu'une seule couleur (une seule longueur d'onde) et a un IRC voisin de zéro.
- **Exemple d'indices de rendu des couleurs**
 - Lumière du jour : 100.
 - Lampe à incandescence (classique et halogène) : ~ 100.
 - Lampe fluorescente (en général) : de 60 à 95.
 - Lampe au sodium haute pression (éclairage routier à tendance monochromatique, exemple même de source lumineuse à mauvais indice de rendu des couleurs) : < 25.

Lampes d'éclairage :

Lampes incandescentes

- Principe :
 - Basé sur le phénomène de thermo résistance (filament chauffant à l'intérieur d'une ampoule de verre sous vide ou contenant un gaz).
- Caractéristiques :
 - Leur durée de vie est assez brève (environ 1 000 heures).
 - L'indice de rendu des couleurs élevé
 - Prix compétitif à l'acquisition.
 - Température de couleur chaude
 - Faible efficacité lumineuse.
- Ce sont les plus répandues et les moins chères à l'achat.
- Efficacité lumineuse = 8 à 14 lm/W.



Lampes halogènes

- Mêmes caractéristiques que les lampes à incandescence sauf qu'on leur a intégré un gaz halogène (iodure, fluorure, bromure) qui évite l'évaporation du filament en tungstène et le noircissement graduel de la lampe à incandescence.
- Sa durée de vie est deux fois celle de l'incandescent (2 000 heures).
- Efficacité lumineuse = 15 à 25 lm/W.



Éclairage par fluorescence

- Principe : à la mise sous tension
 - Amorçage du starter et échauffement des électrodes.
 - Ionisation dans le tube et le starter s'ouvre.
 - Sur-tension due au ballast Le tube s'éclaire : production de rayonnements ultra-violet.
 - Les poudres placées sur le tube transforment les UV en lumière visible.
- L'efficacité lumineuse est de 50 à 90 lumens par Watt.
- Durée de vie moyenne : 6 000 heures.



Lampe fluocompacte

- Principe : C'est un tube fluorescent. Le tube a été replié sur lui-même. Le système d'amorçage électronique est placé dans le culot (baïonnette ou à vis).
- Caractéristiques : en comparaison avec une lampe à incandescence.
 - Efficacité lumineuse : 50 lm/W.
 - Consommation : 5 fois moins d'énergie.
 - Durée de vie : 10 fois plus élevée environ.



Éclairage par LED

- Principe : utilisation de LED montées sur un support
- Caractéristiques :
 - Durée de vie : près de 100 000 heures.
 - Tension TBT par convertisseur intégré.
 - Puissance très faible, aucune production de chaleur.



Éclairage par luminescence (lampes à décharge)

- Principe : Cette lampe est constituée d'une ampoule renfermant un gaz. Lorsqu'un courant électrique traverse le gaz, il y a production de lumière visible ou d'U.V. Les couleurs émises dépendent du gaz utilisé : Vapeur métallique ou gaz.



Lampes à induction

- Principe :
- Il s'agit d'une lampe à décharge sans filament.
 - À l'intérieur de l'ampoule est placée une antenne alimentée en HF (250 kHz).
 - Création d'un champ magnétique.
 - Des vapeurs métalliques deviennent conductrices.
 - Il y a décharge luminescente.
 - La lampe ne contient donc aucune pièce d'usure, ce qui lui permet d'atteindre des durées de vie très importantes (60 000 heures).



4

Intégration de
l'efficacité énergétique
dans les bâtiments

4.1. Nouveaux bâtiments

L'économie d'énergie doit être prise en compte dès la phase de programmation du projet de construction, en l'occurrence, les solutions d'efficacité énergétique passives. La prise en compte des mesures d'efficacité énergétique dès la phase de conception du projet leur permet une intégration facile et à moindre coût.

Les éléments suivants sont à considérer lors de la conception et la construction d'un nouveau bâtiment :

4.1.1. Prise en compte de l'environnement immédiat

- **Le climat** : l'évolution de la température et de l'humidité donnent une idée précoce des problématiques de confort et de consommation
- **Le vent dominant** : source importante de déperditions thermiques (par effet de convection et par infiltrations) à atténuer par la mise en place de brise-vents végétaux ou bâtis, la réduction des ouvertures sur la façade du vent dominant.

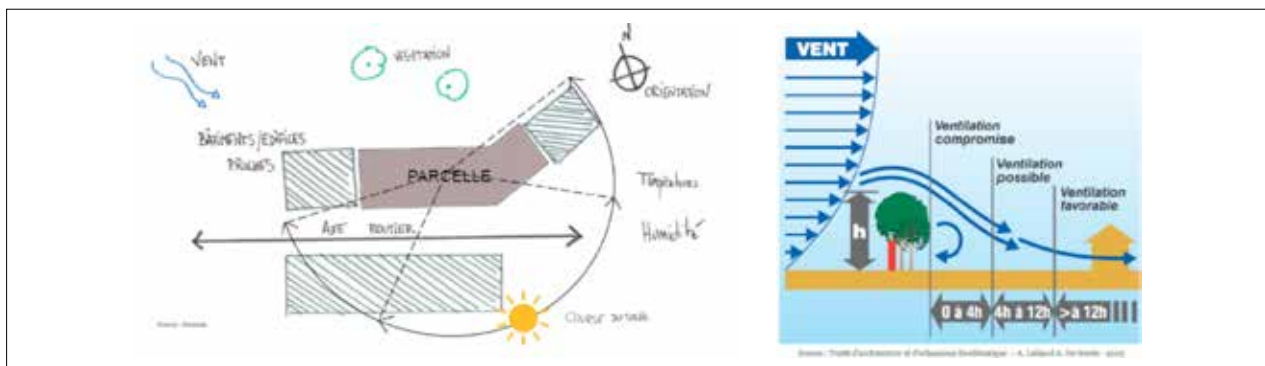


Figure 28 : Prise en compte de l'environnement immédiat et du vent

4.1.2. Architecture bioclimatique

Les principes d'architecture bioclimatique consistent à :

- Capturer et se protéger de la chaleur - Règles générales :
 - Maximisation des surfaces vitrées orientées au Sud, protégées du soleil estival par des casquettes horizontales ;
 - Minimisation des surfaces vitrées orientées au Nord. En effet, les apports solaires sont très faibles et un vitrage est plus déperditif qu'une paroi isolée ;
 - Des surfaces vitrées raisonnables et réfléchies pour les orientations Est et Ouest afin de se protéger des surchauffes estivales. En particulier, les chambres orientées à l'Ouest devront impérativement être protégées du soleil du soir.
- Transformer, diffuser la chaleur : Les teintes les plus aptes à convertir la lumière en chaleur et l'absorber sont sombres (idéalement noires) et celles plus aptes à réfléchir la lumière en chaleur sont claires (idéalement blanches).
- Conserver la chaleur ou la fraîcheur : De manière générale, l'énergie est stockée dans les matériaux de construction situés à l'intérieur de l'isolation de l'enveloppe ; afin de maximiser l'inertie, on privilégiera l'isolation par l'extérieur.
- Favoriser l'éclairage naturel.

4.1.3. Forme des bâtiments

- Plus un bâtiment est compact, plus il est facile d'atteindre des performances énergétiques élevées.
- Les parois extérieures ont un coût économique et écologique important. Réduire leur surface permet de diminuer les déperditions, le coût et l'impact des bâtiments sur l'environnement.

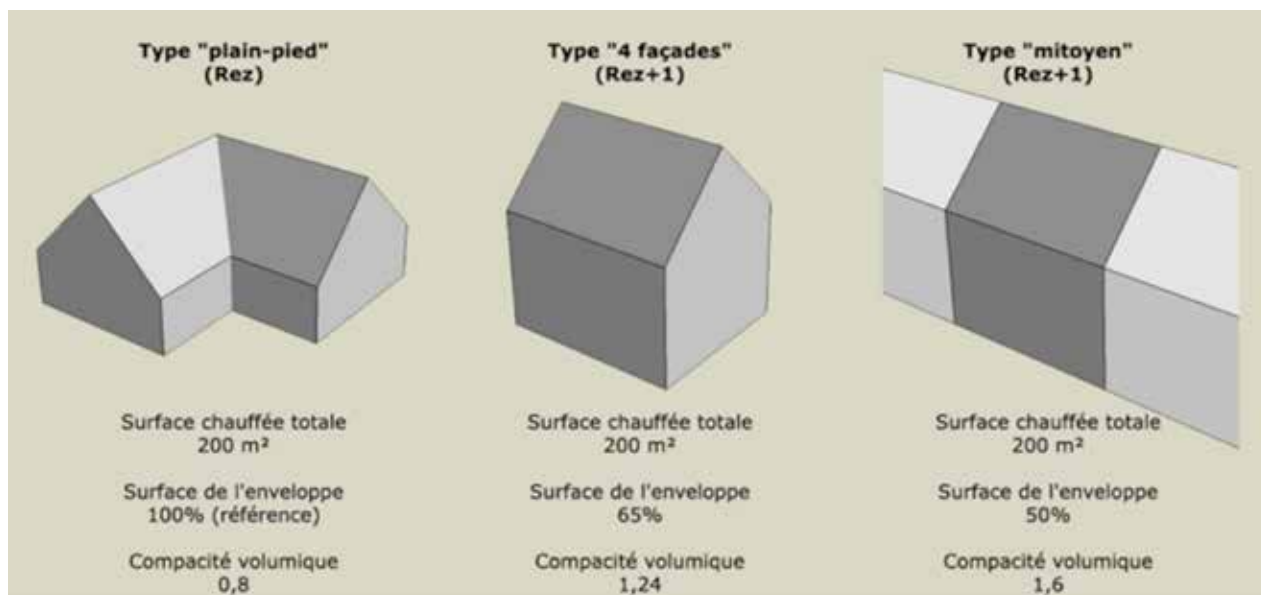


Figure 29 : Impact de la compacité du bâtiment

4.1.4. Orientation du bâtiment

- Favoriser la façade Sud en matière de baies vitrées ;
- Minimiser les baies vitrées sur les façades Est et Ouest : elles sont difficiles à protéger du soleil et dégradent le confort ;
- Minimiser les vitrages sur la façade Nord : les apports solaires sont très faibles et un vitrage est plus déperditif qu'un mur.

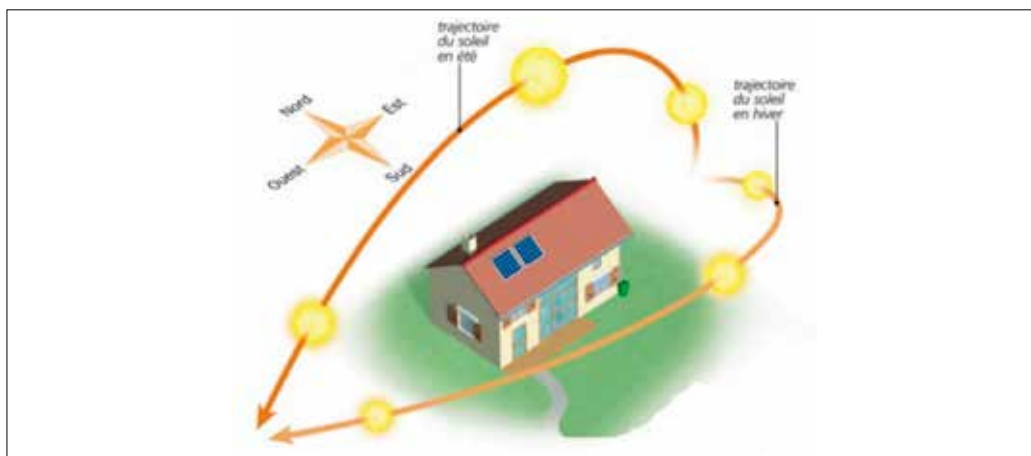


Figure 30 : Orientation d'un bâtiment

4.1.5. Protections solaires

- Légères, amovibles ou orientables (stores, brise-soleil orientables) de façon à les orienter l'hiver pour permettre de profiter du rayonnement solaire, en particulier pour les orientations Est et Ouest ;
- Partie intégrante de la construction elle-même : brise-soleil, écrans, auvents, balcons, débords de toit en particulier pour protéger les ouvertures situées au Sud.

La conception architecturale doit intégrer des protections solaires adaptées à chaque orientation pour assurer leur efficacité :

- Prévoir des protections solaires pour la façade Sud sous forme de casquette ou autres ;
- Prévoir des protections solaires adaptées pour les façades Est et Ouest ;
- Prendre en compte que les protections solaires extérieures sont plus efficaces que les protections solaires intérieures.

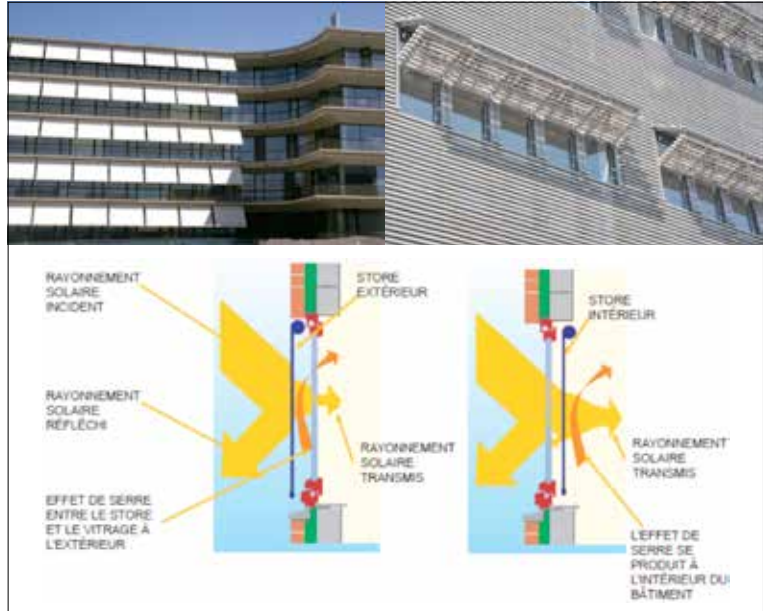


Figure 31 : Exemples de protection solaire

4.1.6. Ventilation naturelle estivale

Des ouvertures sur façades opposées des logements avec libre circulation de l'air dans le logement auront un impact positif sur la ventilation.

Pour permettre la ventilation naturelle traversante, on favorisera si nécessaire la création de courettes intérieures ou de gaines de ventilation spécifiques.

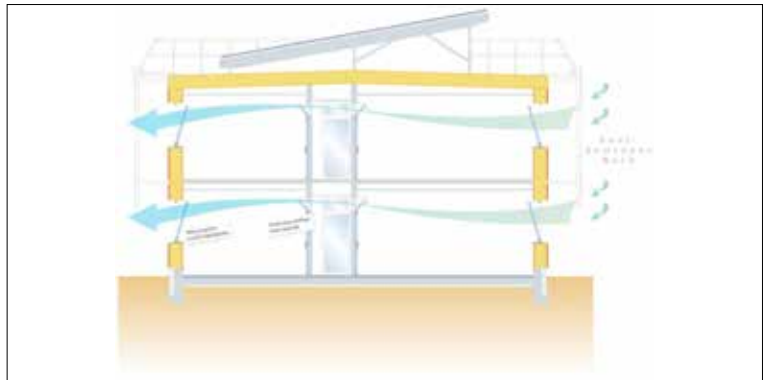


Figure 32 : Ventilation nocturne

4.1.7. Respect de la Réglementation thermique en vigueur

Le bâtiment doit répondre aux exigences de la Réglementation Thermique de la Construction au Maroc (RTCM) en vigueur, soit par :

- L'approche prescriptive (si le Taux Générale des Baies Vitrées TGBV <45%) ;
- L'approche performentielle.

L'adoption de l'approche performentielle est recommandée car elle permet une optimisation maximale des performances du bâtiment en décelant les facteurs influant ses consommations énergétiques.

4.1.8. Choix de matériaux de construction

- Privilégier les matériaux de construction locaux ;
- Privilégier des procédés constructifs et matériaux qui limitent les impacts environnementaux (minimiser l'énergie grise) ;
- Privilégier les isolants issus de :
 - Matières organiques ;
 - Minéraux formés naturellement et en grande quantité ;
 - Recyclage à très faible bilan d'énergie grise.

4.1.9. Conception et positionnement des ouvertures

Les ouvertures influent sur la consommation d'énergie et il est recommandé de respecter ce qui suit :

- La qualité thermique minimale des fenêtres, fixée par la réglementation thermique ;
- La dimension des fenêtres doit être aussi réduite que possible à l'Est, à l'Ouest et au Nord, car ces ouvertures, particulièrement côté Nord, entraînent des entrées d'air froid en hiver et laissent peu ou mal pénétrer le rayonnement solaire ;
- Placer de grandes fenêtres au Sud, car ces vitrages captent plus d'énergie durant l'hiver qu'ils n'en feront perdre.

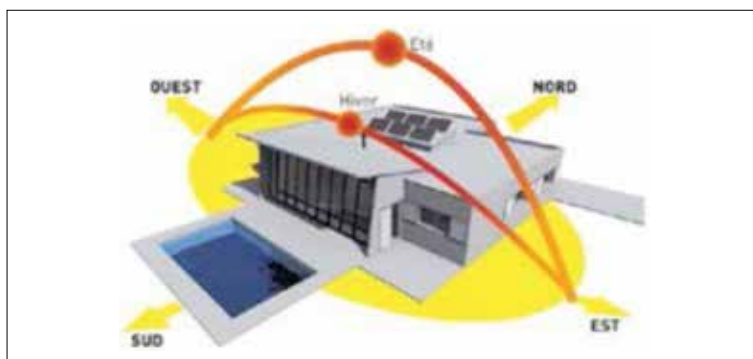


Figure 33 : Grandes fenêtres au Sud – fenêtres réduites à l'Est et à l'Ouest

4.1.10. Menuiseries vitrées extérieures

La qualité thermique d'un vitrage est caractérisée par deux facteurs :

- Son coefficient de transmission thermique (U_g) qui caractérise sa conduction thermique ;
- Son facteur solaire (g), qui caractérise sa capacité à laisser passer le rayonnement solaire direct.

Les cadres des menuiseries extérieures vitrées sont généralement en bois, aluminium, acier ou PVC. Elles sont de type coulissant ou ouvrant à la française.

Les cadres métalliques en acier ou aluminium sont conducteurs de la chaleur et du froid ; en l'absence de dispositif approprié, appelé rupteur de pont thermique, les faces intérieures des châssis sont le siège de condensations, qui peuvent occasionner l'apparition de moisissures.

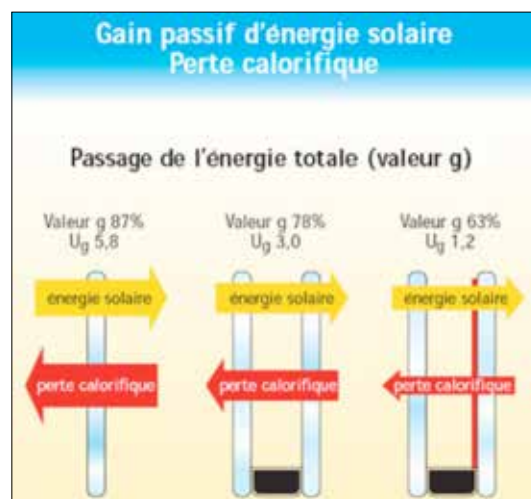


Figure 34 : Performances des fenêtres en fonction du type de vitrage l'Est et à l'Ouest

La part du vitrage dans le bilan thermique d'un bâtiment dépend de deux paramètres :

- Le taux de vitrage du bâtiment : plus la surface vitrée est élevée plus la part du vitrage dans les déperditions est grande ;
- Les performances thermiques du vitrage : plus le coefficient U est faible plus la part du vitrage dans les déperditions est grande.

4.1.11. Revêtement de la toiture et des murs

Un revêtement de toiture de couleur sombre est bénéfique pour l'hiver, mais il est très pénalisant en saison chaude ; au final, il est plus avantageux, dans la mesure du possible et tout en respectant le cadre urbanistique du bâtiment, notamment dans les zones chaudes de :

- Mettre en place un revêtement de couleur claire ou un revêtement qui présente une réflectivité élevée pour la toiture ;
- Mettre en place un revêtement de couleur claire pour les murs.

Cela permettra une réduction de la montée en température de la surface de la toiture terrasse et des murs en été.

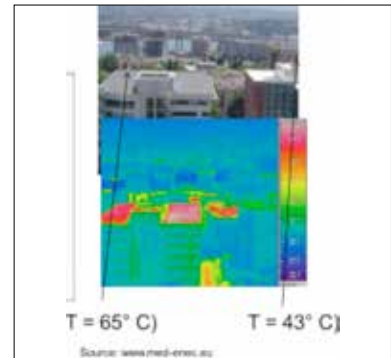


Figure 35 : Impact du revêtement sur le réchauffement de la toiture

4.1.12. Isolation de la toiture

Pendant l'été, la toiture est la partie du bâtiment qui reçoit la plus forte irradiation solaire. En période froide, elle représente une grande surface de déperdition thermique.

Dans les bâtiments de logements modernes, la couverture des bâtiments est généralement constituée par une toiture-terrasse dont la structure comprend :

- Des hourdis en longrines en béton et blocs creux, ou une dalle de béton armé ;
- Une isolation thermique est généralement placée au-dessus de la structure porteuse ;
- Une couche d'étanchéité ;
- Un béton de forme ;
- Une protection superficielle constituée par des dalles dans le cas de terrasses accessibles.

La réglementation thermique impose des valeurs limites acceptables pour le transfert de chaleur à travers la toiture. Quelle que soit la zone climatique concerné et le type de toiture mis en œuvre, la pose d'un isolant est nécessaire pour répondre aux exigences réglementaires.

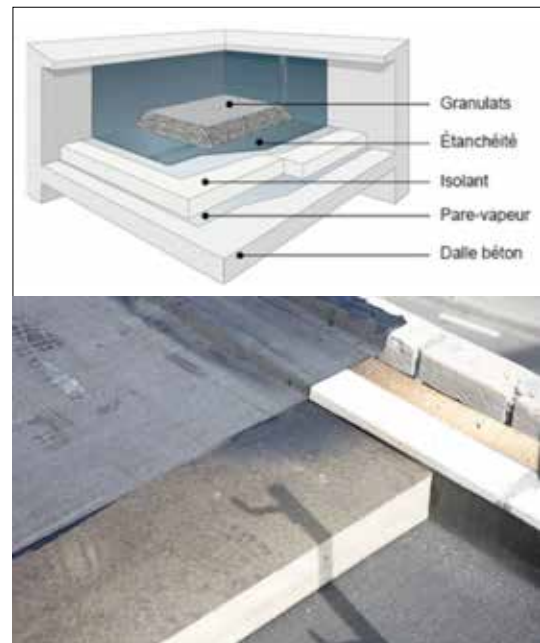


Figure 36 : Exemple d'isolation de la toiture.

En fonction des qualités thermiques de l'isolant choisi, on peut déterminer l'épaisseur minimale d'isolant à mettre en place.

La diminution des transferts thermiques par l'isolation de la toiture est une mesure efficace à plusieurs titres :

■ **Diminution de la consommation énergétique du bâtiment :**

L'économie réalisée par rapport à une toiture non isolée dépend de l'épaisseur et du type d'isolant, du mode d'occupation du bâtiment et du rendement de l'installation de chauffage. L'économie résultant de l'isolation thermique de la toiture peut réduire les transferts thermiques de l'enveloppe jusqu'à 30%.

■ **Amélioration du confort des occupants :**

En hiver, la température du plafond sous toiture augmente grâce à l'isolation. Ceci a un impact immédiat sur le confort des occupants par suppression de l'effet de rayonnement froid du plafond.

De même en été, l'isolation protège les locaux sous toiture des surchauffes provoquées par l'ensoleillement de la toiture.

■ **Diminution des risques de condensation :**

L'augmentation de la température intérieure de surface diminue les risques de condensation au niveau des plafonds des locaux sous toiture.

■ **Protection de la structure du toit :**

L'isolation diminue l'impact des variations de température journalières et saisonnières sur la structure de la toiture.

L'isolation de la toiture par l'intérieur est généralement à proscrire. Dans ce cas, la dalle de couverture absorbe le rayonnement solaire mais ne peut le diffuser à cause de l'isolant. Cette surchauffe de la structure peut entraîner des ruptures d'étanchéité et des fissurations prématurées.

Le surcoût de l'isolation de la toiture varie de 60 à 300 dhs le m² en fonction de :

- Nature de l'isolant utilisé : les matériaux nobles comme le liège sont plus chers que les matériaux synthétiques comme le polystyrène ;
- L'épaisseur de l'isolant mise en place : plus l'épaisseur est grande, plus le prix est élevé ;
- L'emplacement du projet : plus le projet est loin du fournisseur, plus le prix est élevé.

Pour l'isolation de la toiture, il faut s'attendre à un temps de retour d'environ 5 ans.

4.1.13. Isolation des murs

La réglementation thermique impose des valeurs limites acceptables pour le transfert de chaleur à travers les murs. De façon générale, quelle que soit la zone climatique concernée et le type de toiture mis en œuvre, la pose d'un isolant est nécessaire pour répondre aux exigences réglementaires.

Il existe quatre méthodes d'isolation des murs qui sont classés en fonction de la position de l'isolant en fonction de la composition des murs :

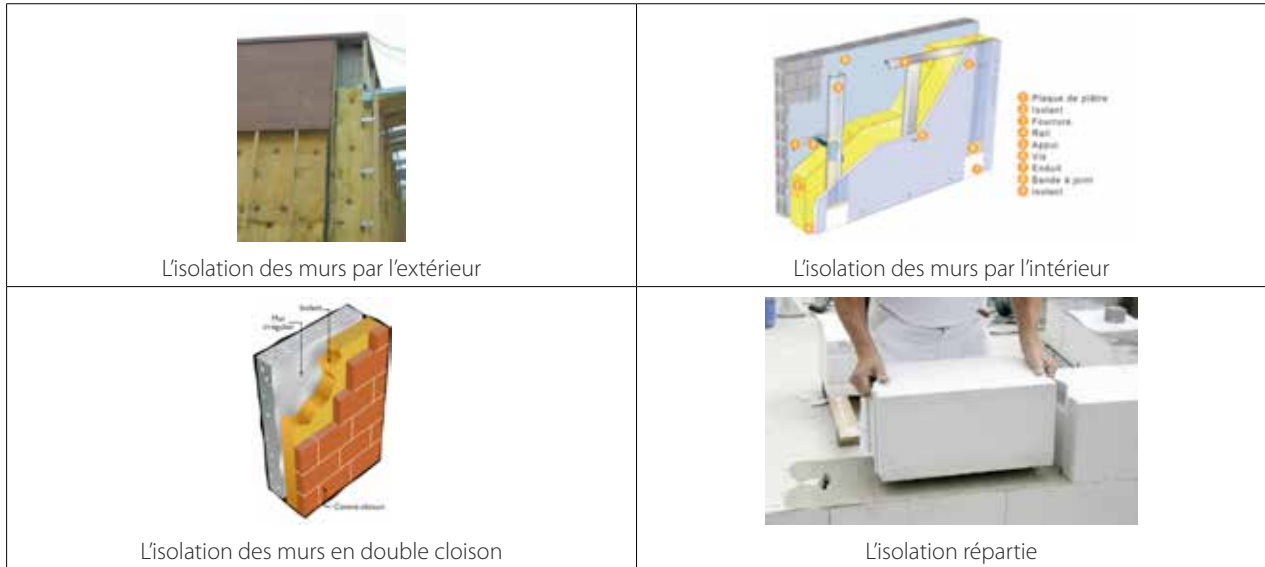


Figure 37 : Isolation des murs extérieurs

Les murs extérieurs peuvent être responsables de jusqu'à 25% des pertes ou d'apports de chaleur. Ils sont une source d'inconfort par la présence de surfaces froides/chaudes et de consommation énergétique de chauffage et climatisation.

Le surcoût de l'isolation des murs varie de 50 à 200 dhs/m² en fonction de l'isolant et de la méthode d'isolation choisie.

Le temps de retour de l'isolation des murs est, en général, plus élevé que celui de la toiture sauf pour les zones froides.

4.1.14. Isolation des planchers bas

La réglementation thermique impose des valeurs limites acceptables pour la résistance au transfert de chaleur à travers les planchers bas, dans les zones où le climat est contrasté.

Dans les zones climatiques tempérées (Z1 et Z2), les transferts thermiques par les planchers bas n'influent pas significativement sur les déperditions ; la réglementation n'impose pas de valeur de transfert thermique pour les planchers bas.

Les planchers bas sont le siège de transferts de chaleur ascendants ou descendants suivant la saison ; suivant le contexte d'implantation, le plancher bas est directement implanté sur un terre-plein, soit sur un vide sanitaire.

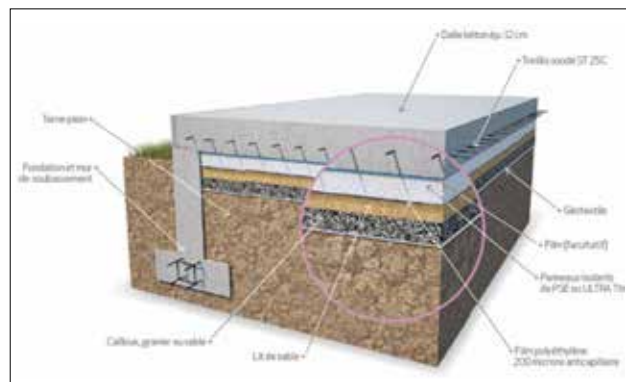


Figure 38 : Exemple d'isolation du plancher bas

Dans le cas d'un plancher sur terre-plein, les transferts thermiques surfaciques sont limités car il y a à la longue, un équilibre entre la température du terre-plein et la température intérieure du bâtiment. En revanche, les planchers sur terre-plein peuvent provoquer des remontées d'humidité.

Le surcoût de l'isolation du plancher bas varie de 150 à 200 dhs/m².

4.1.15. Maîtrise des ponts thermiques

Les ponts thermiques constituent des points de concentration de fuites thermiques et sont la conséquence d'une discontinuité des isolants. Les ponts thermiques présentent plusieurs inconvénients : ils provoquent des points froids générateurs de concentration de condensations et de moisissures, et constituent des facteurs de surconsommation de chauffage et de climatisation. Pour éviter les ponts thermiques, il est recommandé de faire de l'isolation par l'extérieur.

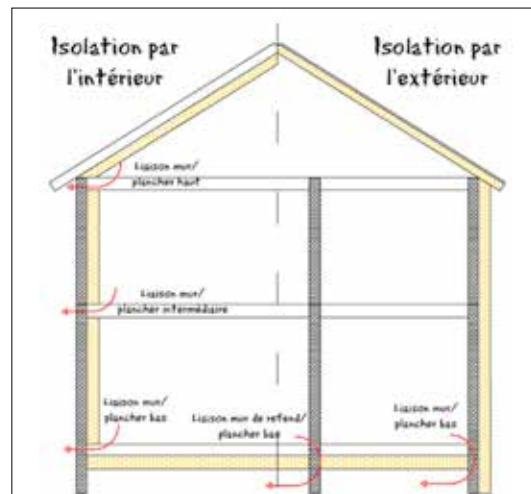


Figure 39 : Exemples de ponts thermiques

4.1.16. Inertie du bâtiment

L'inertie thermique du bâtiment dépend principalement des caractéristiques :

- Des murs extérieurs ;
- Des murs intérieurs ou cloisons ;
- De la toiture et des planchers intermédiaires.

Une forte inertie des parois permet d'atténuer les fluctuations de température et de flux thermique, et de maintenir une température intérieure confortable en lissant les variations de température extérieure diurne et nocturne.

Les matériaux les plus inertes, qui se prêtent bien au stockage de la chaleur, sont des matériaux denses et notamment le béton, la pierre, les briques pleines.

Une grande surface pour les double-cloisons intérieures, cloisons et planchers est très bénéfique sur le plan de l'inertie.

4.1.17. Éclairage naturel

Afin d'optimiser la consommation énergétique de l'éclairage du bâtiment, tout en préservant le confort visuel des usagers, une étude d'optimisation de l'éclairage naturel et du facteur FLJ (Facteur du Lumière du jour) serait très judicieuse. Elle permettrait de déceler les zones critiques et d'optimiser les tailles des ouvertures.



4.1.18. Optimisation budget énergétique

Afin de justifier et de hiérarchiser les actions d'efficacité énergétique, une pré-étude estimative de la rentabilité des actions d'efficacité énergétique proposées est recommandée. Cela comprend les éléments suivants :

- Le surcoût lié à l'application des exigences de la réglementation thermique ;
- Le surcoût lié à la mise en place d'équipements plus efficace énergétiquement par rapport à des solutions conventionnelles ;
- Le temps de retour sur investissement de ces actions en intégrant le surcoût de l'exploitation des équipements énergétiques pour évaluer la rentabilité économique.

4.2. Bâtiments existants

4.2.1. Protections solaires

De même façon que pour un bâtiment neuf, les protections améliorent le confort thermique et la consommation énergétique en été tout en gardant l'ensoleillement en hiver. Cela dit, il est important d'étudier le type de protection adaptée au bâtiment traité. Une attention particulière doit être accordée à la faisabilité technique de ces protections : présence d'espace pour l'intégration des rideaux, possibilité de fixer des lamelles... Il faut également choisir des protections qui s'intégreront bien à l'esthétique du bâtiment.

4.2.2. Prise en compte du vent

Les vents dominants peuvent être pris en compte, tant que possible et selon les avantages et les contraintes du site, de la même façon que pour un bâtiment neuf.

4.2.3. Ventilation naturelle estivale

La ventilation naturelle des bâtiments doit être traitée de la même façon que pour un bâtiment neuf.

4.2.4. Respect de la Réglementation thermique en vigueur

Le RGC PE ne s'applique pas aux bâtiments existants, mais en absence de règlement qui traite ces bâtiments, il serait judicieux d'adopter la même méthode.

4.2.5. Choix de matériaux de construction

Dans une perspective de développement durable, il importe que la construction du bâtiment soit réalisée avec un impact environnemental faible. Pour cela, il est primordial de tenir compte des éléments cités ci-avant.

4.2.6. Conception et positionnement des ouvertures

Si un changement de la conception des ouvertures est prévu, il faut appliquer les orientations proposées dans la partie bâtiment neuf.

4.2.7. Menuiseries vitrées extérieures

Pour un bâtiment existant, l'action est chiffrée au prix d'un changement de vitrage. Il faut compter minimum 1 800 dhs/m². Le temps de retour sur investissement dans ce cas peuvent dépasser les 20 ans en fonction de la part de la surface vitrée dans le bilan thermique du bâtiment et de la surface vitrée totale.

4.2.8. Revêtement de la toiture et des murs

Il serait toujours avantageux, dans la mesure du possible et tout en respectant le cadre urbanistique du bâtiment, notamment dans les zones chaudes de :

- Mettre en place un revêtement de couleur claire ou un revêtement qui présente une réflectivité élevée pour la toiture ;
- Mettre en place un revêtement de couleur claire pour les murs.

Cela permettra une réduction de la montée en température de la surface de la toiture terrasse et des murs en été.

4.2.9. Isolation de la toiture

L'isolation de la toiture reste toujours une action bénéfique au bâtiment aussi bien du point de vue confort que du point de vue énergétique. Il faut toujours proscrire l'isolation de la toiture par l'intérieur. Il faut tenir en compte également le poids de la nouvelle isolation (notamment en cas de lestage) sur la toiture.

Pour l'isolation de la toiture, il faut s'attendre à un temps de retour d'environ 7 ans.



Figure 40 : Isolation de la toiture avec lestage

4.2.10. Isolation des murs

L'isolation des murs dans ce cas reste limitée, en général, à :

- L'isolation par l'intérieur : cela diminuera la surface habitable, engendrera des gênes pendant les travaux. Il faut protéger l'isolant du feu et cela limitera les bénéfices de l'inertie ;
- L'isolation par l'extérieur : c'est une opération lourde (installation chantier et mise en place d'échafaudage), changement de l'aspect extérieur du bâtiment et c'est une technique qui n'est pas très bien maîtrisée au Maroc.

Le surcoût de l'isolation des murs peuvent facilement dépasser 200 dhs/m². Le temps de retour de l'isolation des murs est élevé sauf pour les zones froides.

4.3. Surcoûts engendrés et bénéfiques pour le maître d'ouvrage, les utilisateurs et consommateurs

Les surcoûts de la mise en œuvre de la réglementation thermique ont été identifiés dans l'étude de capitalisation d'Al Omrane.

À partir de ces données, on peut estimer le surcoût lié à la mise en œuvre de la réglementation thermique à 100 Dhs/m² pour les logements situés en zone climatique 1 et 2 (soit 70% du nombre de nouveaux logements), et à 120 Dhs/m² pour les logements situés dans les autres zones climatiques.

Dans le secteur tertiaire, le surcoût est estimé à près de 150 Dhs/m².

L'impact économique de la mise en œuvre des exigences de la réglementation thermique est largement dépendant du niveau et du taux d'utilisation des équipements de chauffage et de climatisation dans les logements.

La durée théorique de l'amortissement du surcoût des investissements d'isolation réglementaire est inférieure à 10 ans. Cette durée théorique est calculée en supposant que le logement est :

- Chauffé l'hiver (de façon à ce que la température intérieure ne descende pas au dessous de 18 °C),
- Climatisé l'été (de façon à ce que la température intérieure n'excède pas 25 °C).

En pratique, le calcul de la durée théorique d'amortissement du surcoût n'est pas représentatif du cas du logement social qui est très peu chauffé et climatisé.

Ainsi l'impact de la réglementation thermique pour les utilisateurs est à considérer en terme de :

- D'amélioration significative en confort des nouvelles habitations ;
- De réduction des besoins de chauffage et de climatisation de 40% dans les zones climatiques 1 et 2 et plus de 60% pour les autres zones ;
- De réduction des puissances des équipements de chauffage et de climatisation de 30 à 50% ;
- De réduction de la consommation d'énergie pour le chauffage et climatisation de 8 à 70 KWh/m²/an ;
- Meilleure adaptation au changement climatique conduisant à des épisodes estivaux et hivernaux de plus en plus contrastés.

5

Exemples de bâtiments intégrant
les mesures d'efficacité énergétique
au Maroc

Nous présentons ci-après quelques projets démonstrateurs intégrant les mesures d'efficacité énergétique. L'objectif recherché par la mise en œuvre des projets démonstrateurs était de montrer à travers des exemples concrets, la pertinence technique, économique et financière de la mise en place à moindre coût de mesures d'efficacité visant à améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments à usage résidentiel ou tertiaire, et en particulier la mise en œuvre des exigences de la Réglementation thermique RTCM et l'installation de chauffe-eau solaires.

Désignation du projet	Maître d'ouvrage	Lieu implantation	Zone clim	Type de projet	Type de bâtiment	Surface de plancher	Situation au 01/11/2016
AL KARAMA	Al Omrane Meknès	El Hajeb	Z4	96 logements sociaux	6 blocs 16 logts R+3	65 m ²	<i>Achevé, en exploitation</i>
AL OUROUD 2	Al Omrane Oujda	Al Arrouit	Z2	140 logements sociaux	3 blocs R+3	65 m ²	<i>Achevé, en cours de commercialisation</i>
JACARANDA	Al Omrane Tamansourt	Tamansourt	Z5	272 logements sociaux	6 blocs R+4	65 m ²	<i>En cours d'achèvement</i>
EL FAL	Laben	Ain Sebaa	Z1	637 logements économiques		65 m ²	<i>Achevé, en exploitation</i>
CHRAFATE	Al Omrane Chrafate	Chrafate	Z2	Bâtiment administratif			<i>Achevé, en cours d'occupation</i>
PORT LIXUS	SGTM Immobilier	Port Lixus	Z2	Hôtel balnéaire	R+2 200 chambres		<i>Inachevé</i>
JARDIN D'HARMONIE	Al Omrane	Tamesna	Z1	140 logements HQE moyen standing	7 blocs R+4	70 à 90 m ²	<i>Non réalisé</i>

Tableau 6 : Exemple de quelques projets démonstrateurs

Les points d'application des projets démonstrateurs concernent les aspects suivants :

- Isolation thermique des murs, des toitures et planchers ;
- Menuiserie à double vitrage ;
- Protections solaires ;
- Chauffe-eau solaires.

Isolation des toitures

Projet	Matériau utilisé	Épaisseur mm	U réglementaire	U obtenu	Prix installé dhs / m ²
AL KARAMA	Polyuréthane projeté	50	0,65	0,42	310
AL OUROUD 2	Polyuréthane projeté	50	0,65	0,42	90
JACARANDA	Polyuréthane projeté	60	0,65	0,44	160
EL FAL	Polyuréthane extrudé	40	0,75	0,67	73,5
CHRAFATE	Polyuréthane projeté	50		0,42	60
PORT LIXUS	Liège aggloméré	40	0,65	0,70	
TAMESNA	À définir			< 0,60	

Tableau 7 : Isolation des toitures



Figure 41 : Isolation des toitures

Isolation des murs

Site	Matériau	Épaisseur mm	U maxi	U obtenu exclu ponts thermiques	U obtenu inclus ponts thermiques	Prix installé dhs / m ²
El Hajeb	Polystyrène expansé	50	0,80	0,39	0,71	55
Al Arrouit	Polystyrène expansé	40	0,80			120
Tamansourt	Polyuréthane projeté	40	0,80			120
Ain Sebaa	Laine de verre	80	1,2	0,34	0,66	33,5
Ain Sebaa	Perlite	80	1,2	0,59	0,88	92
Chrafate	Polystyrène expansé	50		0,39		33
Port Lixus	Laine de roche soufflée	100	0,80	0,32		
Tamesna	À définir			< 0,75		

Tableau 8 : Isolation des murs



Figure 42 : Isolation des murs

Isolation des toitures

Site	Matériau utilisé	Épaisseur mm	R mini régl	R obtenu	Prix installé dhs / m ²
El Hajeb	Polyuréthane projeté	43	0,75	2,16	196
Al Arrouit	Polyuréthane projeté	30	Non exigé	2,64	67
Tamansourt	Polyuréthane projeté	50	1		132
Ain Sebaa			Non exigé		
Chrafate	Polyuréthane projeté				180
Tamesna	À définir			> 1	

Tableau 9 : Isolation des planchers



Figure 43 : Isolation des planchers

Menuiserie à double vitrage

Site	Chassis	Double vitrage	U régl	U obtenu	Surcoût installé dhs / m ²
El Hajeb	Coulissant PVC	4/12/4	3,3	2,7	1 123
Al Arrouit	Battant PVC	4/16/4	3,3	2,2	650
Tamansourt	Battant alu avec rupteur	4/16/4	3,3	2,2	1 721
Ain Sebaa	Coulissant PVC	4/12/4	5,6	2,8	420
Chrafate	Battant / coulissant alu	4/16/4 réfléchissant	3,3	2,2	1 478
		4/12/4 réfléchissant	2,3	2,6	
Tamesna	Battant / coulissant alu / PVC	4/12/4		> 3	

Tableau 10 : Menuiserie double vitrage

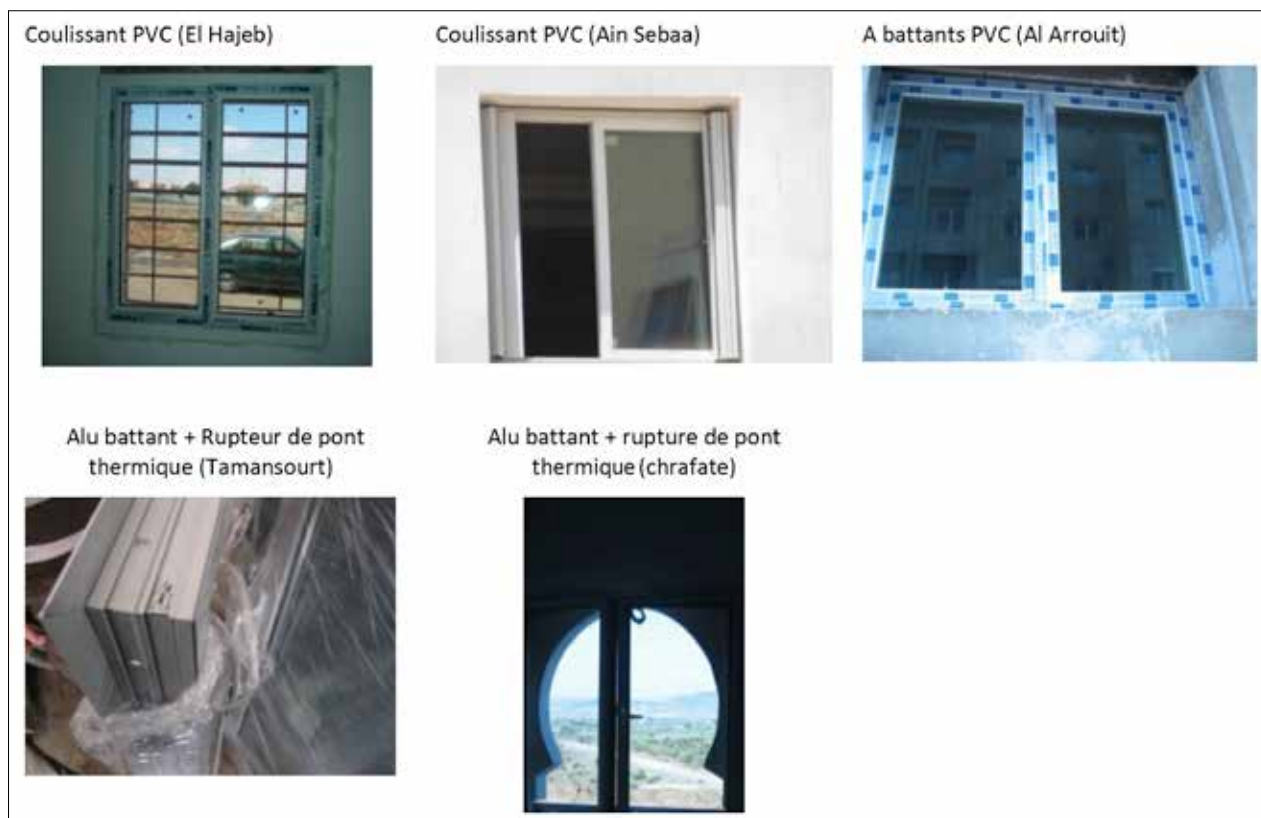


Figure 44 : Menuiserie double vitrage

Protections solaires

Site	Type prévu	Type installé	Matériau	Prix installé dhs / m ²
El Hajeb	Protection extérieure fenêtres toutes orientations	Volet roulant simple	PVP	510
Al Arrouit	Protections extérieures fenêtres Nord et Est	Volet roulant simple	Lame isolante alu	500
	Protections extérieures fenêtres Sud et Ouest	Volet roulant à projection	Lame isolante alu	1532
Tamansourt	Volet roulant alu à projection	Volet roulant à projection	Lame alu isolante	1321
Ain Sebaa	Volet accordéon	Persienne	PVC	520
Chrafate	Protection verticale	Brise soleil architectural	Métal	
Tamesna	Persiennes coulissantes		Alu	

Tableau 11 : Protections solaires

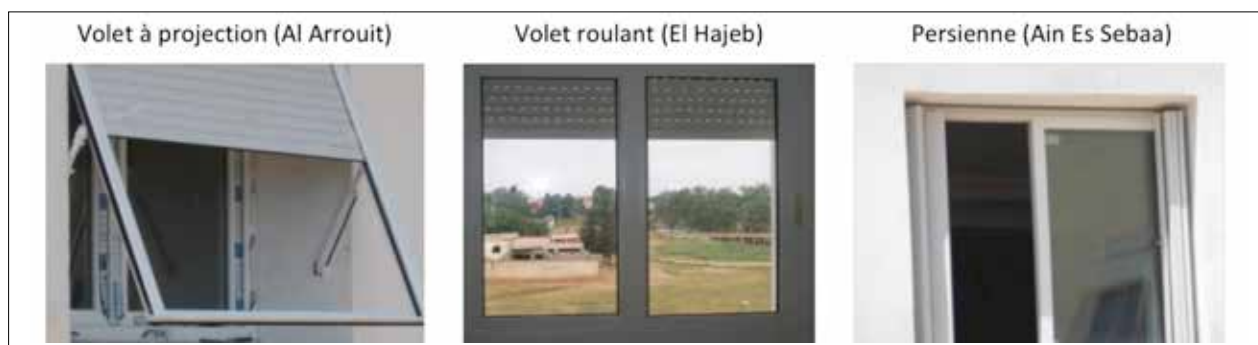


Figure 45 : Protections solaires

Chauffe-eau solaires

Site	Type	Nombre	Capacité stockage (l)	Capteur (m ²)	Prix installé dhs / m ²
El Hajeb	Thermosiphon individuel en toiture	96	200	2,09	13 920
Al Arrouit	Thermosiphon individuel en toiture	140	150	2	13 515 y inclus chauffe eau appoint
Tamansourt	Thermosiphon individuel en toiture	272	150	2	12 125
Ain Sebaa	Capteur plan semi collectif		120	1,62	11 824
Chrafate	Thermodynamique		150		12 212

Tableau 16 : Chauffe-eau solaires

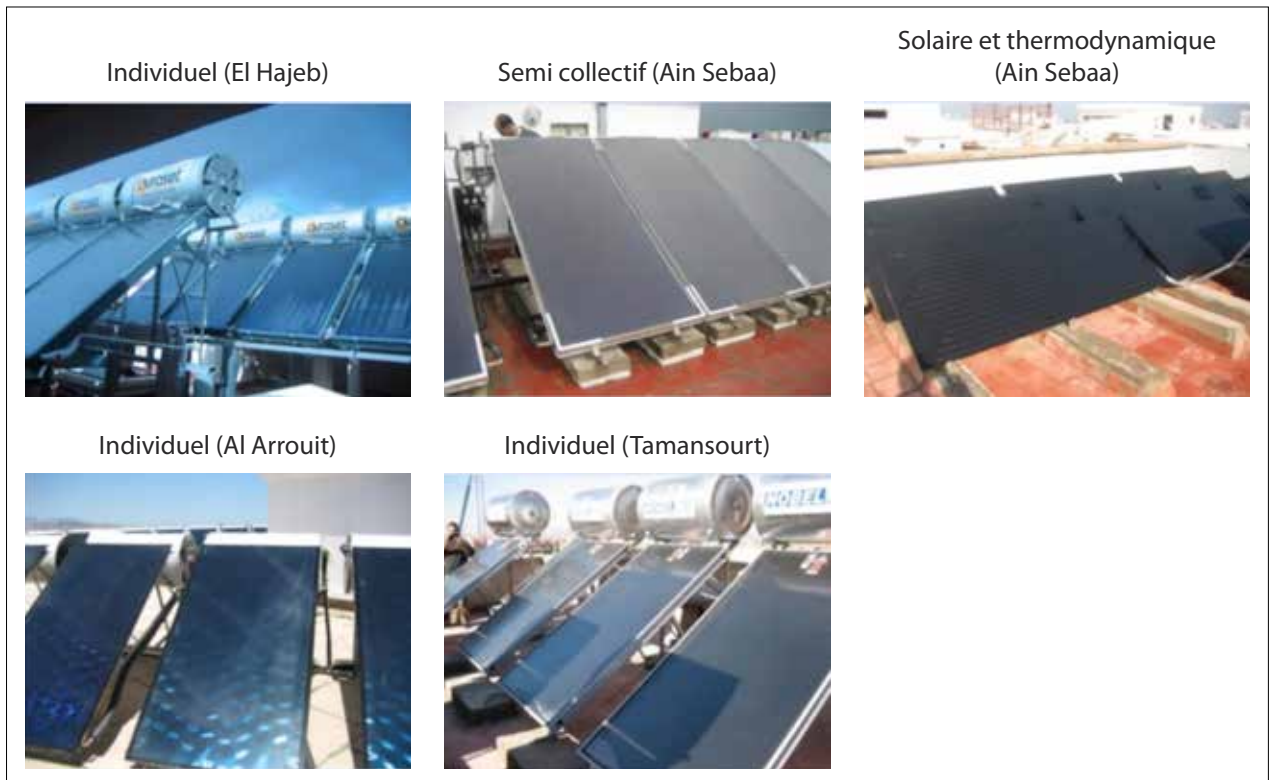


Figure 46 : Chauffe-eau solaires

6

Conclusion

Le potentiel d'économie d'énergie et de mobilisation des énergies renouvelables est important et le Maroc dispose d'une large base de capitalisation sur les pratiques en la matière qui est favorable à la réussite de la transition énergétique.

Les défis restent encore nombreux pour atteindre les objectifs de l'EE dans le secteur :

- L'appropriation et la mise en œuvre de la Réglementation de l'efficacité énergétique dans le bâtiment par les acteurs publics et privés sur l'ensemble du territoire national et de manière décentralisée (communication, sensibilisation, formation) ;
- La mise en place des décrets EE en développement (audits énergétique, contrôle, étude d'impact énergétique, standards minimaux de performance énergétique) et l'accompagnement y afférent ;
- Le renforcement des synergies entre départements du Ministère (Aménagement du territoire, urbanisme, promotion de l'habitat social, qualité et environnement, ...) pour une structuration verticale de l'EE et l'émergence de nouvelles approches : logements en zones climatiques contraignantes, réhabilitation énergétique du parc bâti, aménagement de nouvelles zones urbaines, ... ;
- Le renforcement des synergies et complémentarités des politiques publiques (Habitat, Énergies, Développement Durable, Industrie, régionalisation avancée, ...) dans une approche intégrée favorable à un réel changement de paradigme (mode constructifs, matériaux de construction, pré équipements des logements, ...) à travers des actions pilotes innovantes et la recherche & développement ;
- Le développement du volet « mécanismes de financement » de l'EE dans le bâtiment en liaison avec les institutions financières nationales et internationales, en particulier pour faire évoluer le comportement des investisseurs concernés, en particulier pour l'auto construction ;
- Le renforcement de capacité et la démultiplication des compétences tant pour les acteurs publics que pour les acteurs privés et au niveau des différentes phases de projets de construction (planification, conception, suivi de réalisation et contrôle, ...).

Ressources et références documentaires

- AMEE : *Stratégie Nationale d'Efficacité Énergétique à horizon 2030*.
- Holding Al Omrane : *Capitalisation sur les projets démonstrateurs d'efficacité énergétique dans les bâtiments, 2018*.
- Secrétariat d'État chargé du Développement Durable : *Stratégie Nationale du Développement durable*.
- Secrétariat d'État chargé du Développement Durable : *Contribution déterminée au niveau National*.
- Secrétariat d'État chargé du Développement Durable : *Projet de Nama Habitat*.
- Medenec : *Élaboration d'un plan d'action visant l'appui à l'application du Règlement Général de Construction fixant les règles de performance énergétique des constructions (RGC-PE)*.
- *Loi cadre n° 99-12 portant la charte nationale de l'environnement et du développement durable, 2014*.
- *Loi n° 47-09 relative à l'efficacité énergétique, 2011*.
- *Décret d'application de la loi n° 47-09, règlement général de construction fixant les performances énergétiques des constructions, 2015*.
- *Loi n° 13-09 relative aux énergies renouvelables, 2010*.
- *Loi n° 58-15 modifiant et complétant la loi n°13-09, 2016*.
- *Loi n° 12-06 relative à la normalisation, à la certification et à l'accréditation, 2010*.
- *Circulaire du Ministère de la Réforme de l'administration et de la fonction publique relative à l'exemplarité de l'administration dans la mise en œuvre de la stratégie nationale de développement durable, Août 2018*.
- *Norme NM 14.2.300 relative à l'étiquetage des produits électriques et des appareils électroménager, 2018*.
- *Guide de l'efficacité énergétique dans l'habitat social, MATNUHPV*.
- *Guides techniques AMEE : isolation thermique du bâtiment, éclairage, CVC*.

Publié par



Programme pour l'Efficacité Energétique dans les Bâtiments (PEEB)

c/o Agence Française de Développement (AFD)
5 Rue Roland Barthes
75012 Paris, France
E info@peeb.build
T +33 (0) 1 53 44 35 28
I www.peeb.build

En coopération avec



Ministère de l'Aménagement du Territoire National, de l'Urbanisme,
de l'Habitat et de la Politique de la Ville
Département de l'Habitat et de la Politique de la Ville
Secrétariat Général
Direction de la Qualité et des Affaires Techniques

Angle rue Al Joumayz et Al Jaouz, Secteur n°16, Hay Ryad
10 000 Rabat, Maroc
T +212 (0) 537 577 552
F +212 (0) 537 577 577
I www.mhvp.gov.ma

Le programme pour l'Efficacité Energétique dans les Bâtiments (PEEB) est actuellement financé par le Ministère Fédéral Allemand de l'Environnement, de la Protection de la Nature et de la Sécurité Nucléaire (BMU), le Ministère Français de la Transition Ecologique et Solidaire (MTES), l'Agence Française de Développement (AFD) et le Fonds Français pour l'Environnement Mondial (FFEM). Le PEEB est sous l'égide de la Global Alliance for Buildings and Construction (GABC).

Le PEEB est mis en œuvre par l'Agence Française de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME), AFD et la Deutsche Gesellschaft für International Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

Élaboré par

Bureau d'études ALGEES

Conception

©Napalm, Maroc

Crédits Photos

© P. 1 : freepik

Lieu et date

Rabat, Mai 2019

Financé par



of the Federal Republic of Germany



Ce projet fait partie de l'Initiative Internationale du Climat (IKI). Le Ministère Fédéral Allemand de l'Environnement, de la Protection de la Nature et de la Sécurité Nucléaire (BMU) soutient cette initiative sur la base d'une décision adoptée par le Bundestag Allemand.

Mis en œuvre par



Sous l'égide de





PEEB

PROGRAMME FOR
ENERGY EFFICIENCY
IN BUILDINGS

**Programme pour l'Efficacité Énergétique
dans les Bâtiments (PEEB)**

c/o Agence Française de Développement (AFD)
5 Rue Roland-Barthes
75012 Paris, France

E info@peeb.build

T +33 (0) 1 53 44 35 28

I www.peeb.build