

ADEREE

Agence Nationale pour le Développement
des Énergies Renouvelables et de l'Efficacité Énergétique

GUIDE TECHNIQUE SUR L'ISOLATION THERMIQUE DU BÂTIMENT AU MAROC



Table des matières

<u>SOMMAIRE EXÉCUTIF</u>	3
1. <u>CONTEXTE</u>	5
2. <u>INTRODUCTION SUR L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DANS LE BÂTIMENT</u>	9
3. <u>CADRE RÉGLEMENTAIRE ET NORMATIF EN MATIÈRE D'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE AU MAROC</u>	11
3.1. Programme d'Efficacité Énergétique dans le Bâtiment au Maroc	11
3.2. Règlement Thermique de Construction au Maroc (RTCM).	11
4. <u>CARACTÉRISATION ÉNERGÉTIQUE DU SECTEUR DU BÂTIMENT AU MAROC</u>	15
4.1. Conception architecturale	15
4.2. Les matériaux de construction	16
4.3. Les matériaux d'isolation	17
4.4. Les différents modes de construction au Maroc	17
4.5. Normes liées à l'Efficacité Énergétique	20
5. <u>TECHNIQUES D'ISOLATION</u>	21
5.1. Benchmark du secteur au niveau des pays du bassin méditerranéen	21
5.2. Les matériaux isolants	22
5.3. Techniques de mise en œuvre pour les différentes applications	30

6. ALTERNATIVES EN « NOUVEAUX » PROCÉDÉS ET MATÉRIAUX D'ISOLATION	65
6.1. Innovation dans les matériaux d'isolation	65
6.2. Recherche dans les matériaux locaux à grand potentiel d'isolation thermique	67
6.3. Enveloppe du bâtiment	69
6.4. Aspects bioclimatiques	72
7. MESURES D'ÉCONOMIES ET D'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE	73
7.1. Etudes de faisabilité technico-économique	73
7.2. Investissement et temps de retour	75
7.3. Impact énergétique et environnemental	77
7.4. Impact socioculturel, génération d'emploi	78
8. CONCLUSION	79
9. ANNEXES	81
9.1. Glossaire	81
9.2. Tableaux des exigences limites réglementaires	83
9.3. Liste non exhaustive des fournisseurs des matériaux d'isolation au Maroc	85
9.4. Fiches des produits	86
9.5. Résumé des propriétés fondamentales des matériaux les plus utilisés	83
9.6. Tableau des normes relatives à l'efficacité énergétique	94
10. BIBLIOGRAPHIE	103
11. TABLE DES MATIÈRES DES TABLEAUX ET FIGURES	104

Sommaire Exécutif

L'ADEREE a développé ce guide complet sur **l'isolation thermique** et sa mise en œuvre, à destination des professionnels, maîtres de chantiers et ouvriers du bâtiment, afin de les accompagner dans la mise en œuvre du Règlement Thermique de Construction au Maroc (RTCM).

En effet, le Règlement Thermique de Construction au Maroc (RTCM), fixe pour les composantes de l'enveloppe du bâtiment, des niveaux de performance selon la zone climatique et le type de bâtiment. Ce Guide Technique est donc conçu afin de présenter **les solutions les plus propices** à l'amélioration de la performance énergétique de l'enveloppe du bâtiment, et traitera principalement de la mise en œuvre sur le terrain de mesures d'efficacité énergétique du volet passif.

Sont ainsi abordées les différentes applications de l'enveloppe du bâtiment : architecture, orientation, parois opaques, double vitrage, toitures et planchers ; **les principaux matériaux d'isolation thermique** disponibles sur le marché, avec leurs propriétés physiques et leurs caractéristiques. **Les techniques de mise en œuvre de l'isolation** durant la construction d'un bâtiment, en cas de nouvelle construction ou en cas de rénovation sont également traitées, accompagnées d'une approximation des **coûts des produits et leurs installations** et du temps de retour sur investissement.

Ainsi, maîtriser la mise en œuvre et **la pose des matériaux d'isolation** sur le terrain constitue une étape fondamentale dans le processus de construction d'un bâtiment efficace et économe en énergie. Pour cela, l'isolation des toitures et des murs extérieurs, une les principales mesures d'efficacité énergétique mis en œuvre par le RTCM, est **explicitée en détail dans ce guide**.

1. CONTEXTE

L'utilisation de l'énergie est devenue une question centrale dans le fonctionnement et le développement des sociétés humaines. Cependant, au cours des siècles XIX et XX, l'humanité a appris à exploiter l'énergie contenue dans les combustibles fossiles principalement le charbon, le pétrole, le gaz naturel ainsi que l'énergie nucléaire. Cette énergie a contribué à la révolution industrielle, conduisant à une augmentation sans précédent de la productivité pour des millions de personnes dans le monde entier. Plus nous avançons dans le troisième millénaire, plus on verra croître la connaissance des systèmes énergétiques mondiaux, avec l'évidence que ceux-ci nécessitent un changement radical, afin de satisfaire nos besoins en énergie d'une manière durable sur le long terme.

Dans son dernier rapport de novembre 2011 (« World Energy Outlook »), l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE) tire la sonnette d'alarme. Il est vrai que les projections en termes de demande énergétique sont encore à la hausse. La demande mondiale d'énergie primaire devrait augmenter d'environ un tiers d'ici à 2035, tirée en particulier par les pays hors OCDE. La part des énergies fossiles (pétrole, gaz naturel, charbon) restera dominante même si, proportionnellement, leur part baissera dans la consommation mondiale, de 81 % en 2009 à 75 % en 2035 (hausse des prix et diversification des sources d'énergie).

Au Maroc, la préoccupation pour l'approvisionnement énergétique est omniprésente. Dans un contexte de dépendance énergétique quasi-totale du pays vis-à-vis de l'étranger et d'une fluctuation importante des prix d'énergie, il est devenu nécessaire d'appliquer une politique ambitieuse d'efficacité énergétique, dans le cadre de sa nouvelle stratégie énergétique, ayant pour but d'exploiter le potentiel important en Énergies Renouvelables et en Efficacité Énergétique que recèle le Maroc.

En effet, le royaume a mis en place une politique énergétique nationale favorable au développement des énergies renouvelables, pour sécuriser son approvisionnement énergétique dans un contexte de forte croissance de la demande énergétique, pour maîtriser les coûts futurs des services énergétiques par rapport à la tendance haussière des cours des produits pétroliers et enfin pour préserver l'environnement en atténuant les émissions de gaz à effet de serre.

La nouvelle stratégie énergétique nationale a pour objectifs majeurs d'assurer la sécurité d'approvisionnement et la disponibilité de l'énergie, l'accès généralisé à l'énergie à des prix raisonnables, la maîtrise de la demande et la préservation de l'environnement. Pour atteindre ces objectifs, des plans d'action à court, moyen et long terme ont défini les lignes forces à mettre en œuvre:

- Construire un bouquet électrique optimisé autour de choix technologiques fiables et compétitifs. Le charbon propre, énergie la plus disponible avec les prix les plus

stables et produisant le KWh le moins cher, constitue le socle de la production de base. Les options pour le gaz naturel, le nucléaire et la combustion directe des schistes bitumineux restent ouvertes et leur réalisation conditionnée par leur accessibilité et leur disponibilité de longue durée, leur faisabilité technico-économique et leur compétitivité.

- Développer les énergies renouvelables dont l'exploitation du potentiel considérable permettra au Maroc de couvrir une part substantielle de ses besoins en énergie, d'atténuer sa dépendance énergétique et de réduire les émissions des gaz à effet de serre.
- Eriger l'efficacité énergétique en priorité nationale comme moyen le plus rapide et le moins coûteux pour mieux utiliser et économiser l'énergie et baisser la facture énergétique.
- Mobiliser les ressources nationales fossiles par l'intensification de l'exploration pétrolière, la mise en valeur des immenses gisements de schistes bitumineux et l'extraction d'uranium des phosphates.
- S'intégrer dans le système énergétique régional africain et euro-méditerranéen pour renforcer la sécurité énergétique, abaisser les coûts d'approvisionnement, élargir les échanges, développer la coopération, les transferts de technologies et la solidarité.

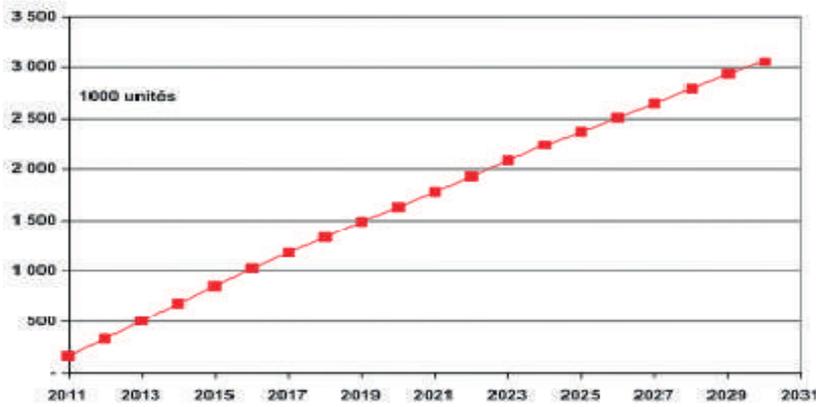
L'objectif annoncé par le Gouvernement du Maroc est de réaliser des économies d'énergie primaire comprises entre **12 et 15%** à l'horizon de **2020**, à travers la mise en marche d'un Plan d'Efficacité Énergétique dans les différents secteurs économiques. Quant au secteur particulier du Bâtiment, le Maroc a instauré un cadre législatif volontaire pour accompagner sa stratégie énergétique, dont la **Loi 47-09 relative à l'efficacité énergétique**.

La loi-cadre **47-09**, entrée en vigueur en novembre 2011, englobe aussi bien des obligations dans les phases d'analyse du site à construire et des obligations dans la phase de conception du bâtiment. La loi prévoit des obligations telles que: la performance énergétique, l'efficacité énergétique, des études d'impacts énergétiques, des audits énergétiques, le contrôle technique et des incitations et pénalités. L'un des grands résultats de cette loi, est l'approbation du **Règlement Thermique de Construction au Maroc (RTCM)**, applicable aux bâtiments, et fixant les règles de performance énergétique des constructions.

A cet effet, l'Agence Nationale pour le Développement des Energies Renouvelables et de l'Efficacité Énergétique (ADEREE) et ses partenaires développent un **Programme d'Efficacité Énergétique dans le Bâtiment**. Le programme œuvre pour l'intégration des considérations énergétiques dans le bâtiment, au sein des secteurs clés de la politique de développement (l'habitat, la santé, l'hôtellerie et l'éducation nationale).

De même, le secteur du Bâtiment, aussi bien résidentiel que tertiaire, connaît une expansion majeure au Maroc. À l'heure actuelle, il ya un boom extraordinaire de l'activité de construction, s'attendant à une augmentation significative du parc de logements, basé sur les programmes de l'Etat en matière de construction à court et à moyen terme, ainsi que dans les projections de la Direction de la Statistique du Haut Commissariat au Plan.

Le nouveau parc de logements, qui sera construit au cours des vingt prochaines années, est estimé à environ trois millions d'unités comme le montre le graphique ci-dessous:



Graph 1.- Nouveau parc cumulé à partir de 2011. (Source: DS + Ministère de l'Habitat)

En outre, la population est de plus en plus exigeante sur le plan qualité mais aussi sur le plan confort, aussi bien thermique qu'acoustique dans les bâtiments. Cette exigence de confort est étroitement accompagnée par une hausse de consommation énergétique surtout celle liée au Chauffage-Ventilation-Climatisation.

Par ailleurs, il a été démontré que des niveaux d'isolation thermique appropriés permettraient d'économiser près de 50% de la consommation énergétique des bâtiments. La différence dans les économies au niveau des enveloppes isolées et non isolées est significative. L'objectif de l'isolation thermique est de réduire la demande d'énergie pour le chauffage et la climatisation dans le secteur des bâtiments.

Cela est possible lorsque l'on agit en amont de la mise en œuvre des projets de construction de bâtiments publics, résidentiels et du secteur tertiaire, notamment lors de la conception et la construction.

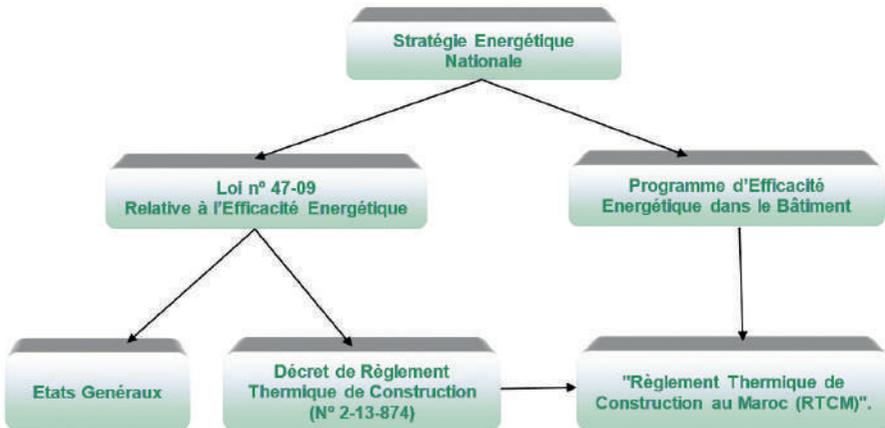


Figure 1.- L'approche d'élaboration du Règlement Thermique de Construction au Maroc.

A cet effet, l'ADEREE, en collaboration avec ses partenaires nationaux et internationaux, élabore un **Guide Technique sur l'isolation thermique du Bâtiment au Maroc**.

Ce guide est adressé aux **prescripteurs et professionnels** du secteur du Bâtiment au Maroc, qui ont besoin de connaître les solutions pour améliorer la performance énergétique des bâtiments et de permettre le respect du nouveau **Règlement Thermique de Construction au Maroc (RTCM)**.

L'objectif de ce guide est de décrire avec précision les différentes techniques de mise en place des matériaux d'isolation thermique dans le bâtiment, pour les projets de construction et de réhabilitation dans le secteur résidentiel et tertiaire, en respectant les exigences du Règlement thermique de construction dans les différentes zones climatiques au Maroc.

Il détaille d'une manière approfondie les différentes solutions techniques sélectionnées pour une meilleure isolation thermique des différents constituants de l'enveloppe du bâtiment, et ce, conformément aux exigences du Règlement Thermique de Construction au Maroc RTCM, ainsi que l'impact en termes de réduction de CO₂, d'investissement et de création d'emplois.

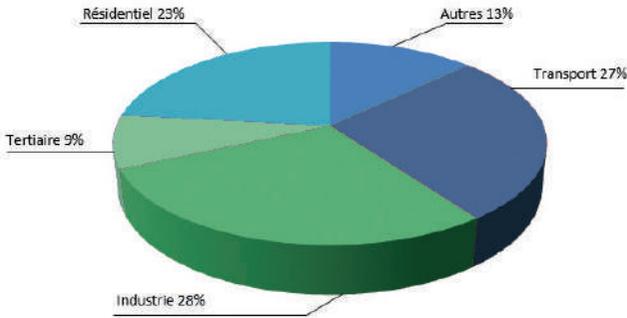
L'objectif premier du guide est:

- Orienter et sensibiliser toutes les parties prenantes du secteur du bâtiment, notamment les administrations et les entreprises, ainsi que le grand public pour améliorer leurs connaissances en matière de mise en œuvre sur le chantier des différentes techniques de la mise en place des matériaux d'isolation lors de la construction d'un bâtiment.
- Mettre à la disposition des maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre les informations essentielles pour mieux sélectionner les produits et matériaux d'isolation qui permettront de respecter plus aisément le Règlement RTCM.



2. INTRODUCTION SUR L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DANS LE BÂTIMENT

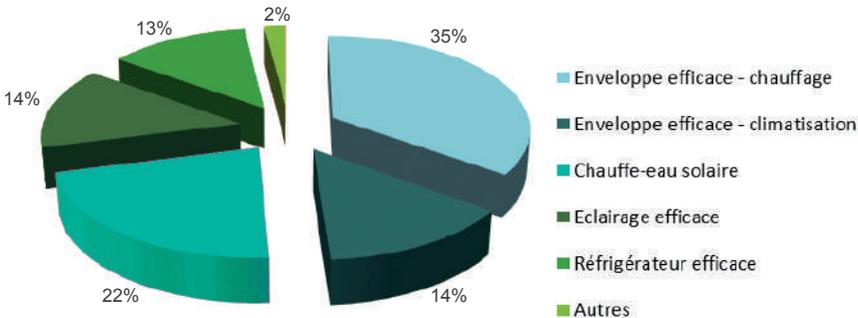
Au niveau mondial, le secteur du bâtiment représente à lui seul autour de 32 % de la consommation d'énergie finale et contribue à hauteur d'un tiers environ des émissions de CO₂, comme le montre le graphe 2.



Graphe 2.- Consommation d'énergie finale par secteur dans le monde en 2010. (Source: Modernising Building Energy Codes, IEA, 2013)

Par ailleurs, il est estimé que le potentiel d'économies d'énergie dans le secteur du bâtiment est de l'ordre de 40%, en grande partie via des mesures économiquement rentables selon le scénario 450 d'AIE 2008. C'est également un secteur éminemment stratégique du fait de la longue durée de vie des bâtiments : les constructions d'aujourd'hui conditionneront durablement les consommations de demain. En effet, un bâtiment bien pensé dès sa conception sera toujours plus performant et moins coûteux qu'un bâtiment rénové a posteriori. Si le secteur de la rénovation est crucial aux vues du parc de logements existant, la construction neuve se doit d'être exemplaire.

Ce potentiel peut être atteint à travers l'agrégation de l'effet de plusieurs mesures individuelles, comme le montre le graphe 3.

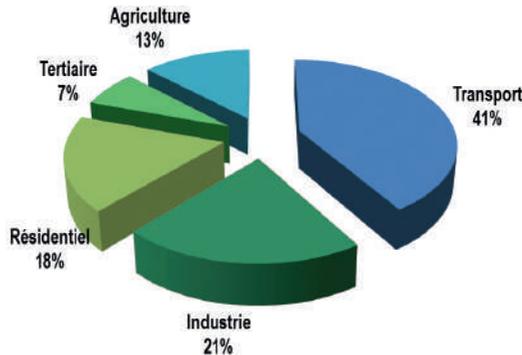


Graphe 3.- Structure du potentiel d'efficacité énergétique dans la région de la méditerranée du sud sur la période 2010-2030.

Source: Etude régionale sur l'efficacité énergétique dans le bâtiment, Plan Bleu, A. Mourtada, 2010

Notons que la mesure de l'amélioration des performances thermiques de l'enveloppe des bâtiments, couvre à elle seule 50% de ce potentiel, grâce aux économies d'énergie qu'elle implique pour les besoins de chauffage et de climatisation. Il en découle l'importance des mesures réglementaires relatives aux performances thermiques des bâtiments.

Pour le cas spécifique du Maroc, la consommation énergétique se répartit de la forme suivante:



Graphique 4.- Structure de la consommation par secteur. Source: ADEREE

L'économie d'énergie est la quantité d'énergie qui n'est plus utilisée suite à la mise en œuvre de diverses mesures de contrôle de l'énergie dans les bâtiments. Pour éviter ce gaspillage d'énergie, l'on impose la règle des trois Réductions:

- Réduction de l'énergie non renouvelable;
- Réduction de l'inefficacité des systèmes;
- Réduction de la demande.

Pour réduire la consommation en climatisation, la manière la plus efficace et économique est l'amélioration de l'enveloppe du bâtiment, étant donné que c'est au travers de cette enveloppe, où se produisent les plus grandes pertes d'énergie.

En général, et selon la climatologie et le type de construction, les pertes thermiques les plus importantes sont celles générées par la toiture, suivies par celles des murs et des baies vitrées.

L'amélioration des performances thermiques de l'enveloppe constitue l'une des principales mesures structurelles d'efficacité énergétique dans ce secteur, compte tenu de la durée de son impact dans le temps. Ce type de mesures est d'autant plus important que le Maroc connaisse aujourd'hui un développement sans précédent du marché de la construction.

Le Règlement Thermique de Construction est l'un des instruments majeurs pour la transformation du marché de la construction, envers un mode plus efficace en énergie. Pour ces raisons, les dispositions réglementaires marocaines se focalisent dans un premier temps sur les performances de l'enveloppe des bâtiments, mais seront élargies dans un deuxième temps à d'autres composantes importantes, telles que les équipements énergétiques, la gestion des services d'énergie, l'aménagement urbain, etc.

3. CADRE RÉGLEMENTAIRE ET NORMATIF EN MATIÈRE D'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE AU MAROC

3.1 PROGRAMME D'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DANS LE BÂTIMENT

Comme mentionné auparavant, l'ADEREE a lancé le Programme d'Efficacité Énergétique dans le secteur du Bâtiment au Maroc. En termes d'économie d'énergie, ce programme prévoit une économie d'énergie finale d'environ **1,22 Mtep** à l'horizon **2020** (Plan d'Actions Efficacité Énergétique dans le secteur du Bâtiment au Maroc, ADEREE).

Ce programme a pour objectifs majeurs:

- L'optimisation de la consommation d'énergie dans les secteurs cibles, grâce à l'application d'un Règlement Thermique de Construction au Maroc;
- L'amélioration de la qualité du service et du confort des usagers dans les secteurs cibles;
- Le renforcement et la pérennisation des cadres institutionnel et réglementaire régissant le secteur de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables dans le bâtiment;
- Le développement de métiers nouveaux et d'un nouveau créneau économique (industrie de matériaux d'isolation, double vitrage, équipement à haute performance énergétique, lampes économiques ...).

3.2 RÈGLEMENT THERMIQUE DE CONSTRUCTION AU MAROC (RTCM)

Dans le cadre de la mise en œuvre de la **loi 47-09**, le Ministère de l'Énergie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement en partenariat avec le Ministère de l'Habitat de l'Urbanisme et de la Politique de la ville, et l'Agence Nationale pour le Développement des Énergies Renouvelables et de l'Efficacité Énergétique ont élaboré le projet de décret approuvant le **Règlement Thermique de Construction au Maroc (RTCM)**, applicable aux bâtiments, fixant les règles de performance énergétique des constructions et instituant le Comité national de l'efficacité énergétique.

Ce Règlement œuvre pour l'intégration des considérations énergétiques dans le bâtiment, au sein des secteurs clés de la politique de développement. Il concerne aussi bien le volet passif du bâtiment (bioclimatique, enveloppe, orientation...), que le volet actif (CVC, ECS, éclairage, chauffage, climatisation...) dans les secteurs

résidentiel et tertiaire, avec pour objectifs majeurs.

Le Règlement Thermique de Construction définit les spécifications techniques minimales des performances thermiques des bâtiments à respecter, aussi bien dans le secteur résidentiel que dans le secteur tertiaire, en vue d'obtenir les résultats suivants:

- Réduire les besoins en climatisation: chauffage et refroidissement ;
- Améliorer le confort thermique;
- Optimiser la conception de l'enveloppe du bâtiment, indépendamment des installations énergétiques du bâtiment.
- Inciter les architectes et les maîtres d'ouvrage à l'utilisation de l'approche de la performance thermique dans la conception de l'enveloppe du bâtiment.
- Soutenir la réalisation de diagnostics et audits énergétiques des bâtiments existants, en établissant des niveaux de référence souhaités et en fournissant des logiciels qui permettent la simulation des solutions alternatives.

Le Règlement Thermique s'applique à l'ensemble des constructions neuves. Les bâtiments existants sont évalués à travers des audits énergétiques pour une mise en œuvre postérieure des mesures appropriées identifiées, en vue de les adapter à la nouvelle Réglementation.

La méthodologie suivie pour l'élaboration du RTCM répond à un processus itératif avec l'intervention des principaux acteurs du secteur du bâtiment. Elle est effectuée en six grandes phases :

- Préparation des données et hypothèses de base ;
- Zonage climatique ;
- Simulations thermique et analyse des paramètres ;
- Evolution de l'impact socio-économique ;
- Concertation avec les différentes institutions concernées ;
- Mise en œuvre de la réglementation.

Zonage climatique

Sur la base des données climatiques cumulées et enregistrées, ainsi que les besoins de chauffage et de refroidissement annuels dans onze villes clés, le zonage climatique du Maroc a été effectué, selon le critère du nombre de degrés-jours en hiver et de degrés-jours en été (voir définition dans l'annexe 9.1).

Le territoire a été divisé en six zones climatiques homogènes, en respectant les limites administratives. La carte ci-dessous montre les zones climatiques adoptées par le Règlement Thermique de Construction au Maroc.



ZONAGE CLIMATIQUE DU MAROC ADAPTÉ AUX BESOINS DU RÈGLEMENT THERMIQUE DE CONSTRUCTION

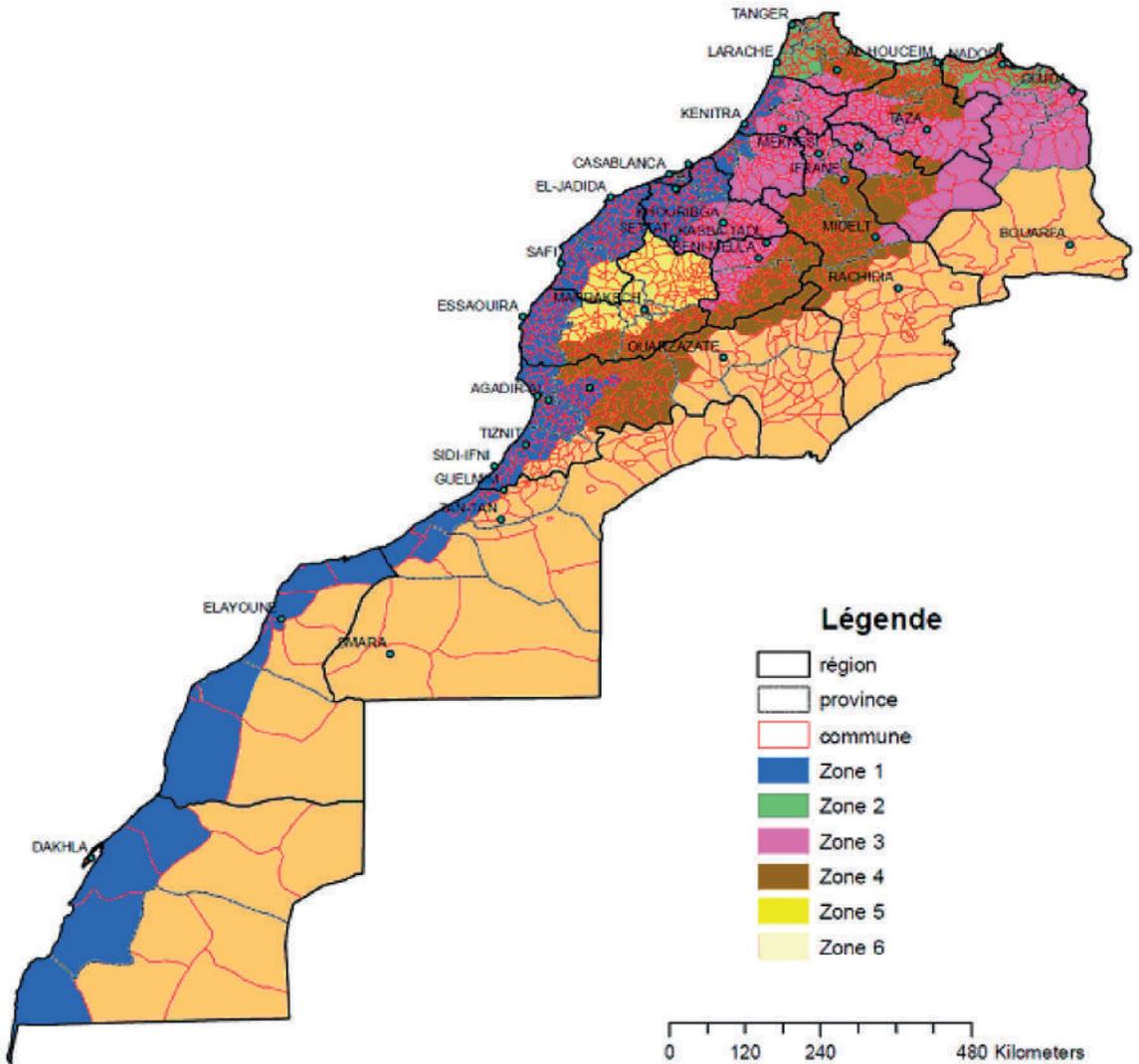


Figure 2.- Zonage climatique du Maroc. Source : ADEREE

Prescriptions techniques

Les spécifications techniques minimales sont exprimées, pour chaque zone climatique et type de bâtiment, de deux manières: a) une approche globale dite performancielle, b) une approche simplifiée dite prescriptive.

- a) L'approche performancielle** (basée sur la performance) consiste à définir et à fixer les spécifications techniques minimales comme conditions de la performance thermique du bâtiment, évaluées sous formes de besoins en énergie du bâtiment, liées au confort thermique. Ces besoins en énergie aussi bien pour le chauffage que pour le refroidissement et indépendamment du type du système CVC utilisé. Lesdits besoins correspondent à la somme annuelle de la demande thermique du bâtiment à ses installations, pour répondre aux besoins de confort de ses habitants.

Le tableau 1 présente les spécifications techniques minimales de la performance thermique des bâtiments, telles que définies dans le Règlement Thermique de Construction, et qui doivent être couvertes lors de l'utilisation de l'approche performancielle.

Zones climatiques	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	48	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: bureaux, commerces, administration, services et autres bâtiments publics.

Tableau 1.- Besoins spécifiques thermiques annuels maximaux de chauffage et de climatisation des bâtiments au Maroc.

- b) L'approche prescriptive** consiste à définir les spécifications limites acceptables en termes de caractéristiques thermiques de l'enveloppe du bâtiment et en fonction du type de bâtiment, de la zone climatique et du Taux Global des Baies Vitrées (TGBV) des espaces chauffés ou refroidis. Ces spécifications techniques peuvent être calculées avec les logiciels simplifiés agréés par l'ADEREE.

Les spécifications techniques limites des caractéristiques thermiques de l'enveloppe des bâtiments résidentiels, selon l'approche perspective du Règlement Thermique de Construction au Maroc (RTCM), sont recueillies dans le tableau 1, en annexe 9.2.

Les spécifications techniques limites des caractéristiques thermiques de l'enveloppe des bâtiments dans le secteur tertiaire, selon l'approche perspective du RTCM, sont recueillies dans le tableau 2, en annexe 9.2.

4. CARACTÉRISATION ÉNERGÉTIQUE DU SECTEUR DU BÂTIMENT AU MAROC

4.1. CONCEPTION ARCHITECTURALE

L'architecture marocaine est séduisante et aussi variée que le paysage du pays lui-même. Sa longue histoire, ainsi que les influences religieuses et culturelles ont façonné le pays et ses styles architecturaux. L'architecture du Maroc a été décrite comme un véritable mélange exotique, majestueux, éclectique, contemporain et traditionnel.

Elle se distingue par des motifs géométriques et des couleurs vives, notamment dans les carreaux appelés zellige. En effet, l'architecture est raffinée et très ornementale en caractérisant en premier l'art du Maroc. Le monde des arts apporte sa contribution à la connaissance de l'histoire artistique marocaine.

La construction des Ryads est basée sur les principes d'une maison traditionnelle qui conjugue l'architecture locale, les conditions climatiques, le site de construction et les matériaux naturels. Grâce à cette conception bioclimatique, l'on réalise d'importantes économies d'énergie et on bénéficie d'un certain confort climatique en hiver, comme en été.



Figure 3.- Bâtiment à Marrakech.

4.2. LES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION AU MAROC

Au Maroc, il se produit une grande quantité de matériaux de construction et la production nationale est en mesure de satisfaire les 90% des besoins du pays, selon la Fédération des Industries de Matériaux de Construction (FIMC-2012).

La construction est principalement basée sur des matériaux structurants à base de ciment et de béton (B20, B25, B30), béton cellulaire, parpaings (agglomérés de béton), mortier, plâtre, la chaux, la pierre naturelle, les grés, les carreaux céramiques et le zellige traditionnel.

Les briques rouges creuses sont idéales en revêtement mural et en maçonnerie porteuse. Elles existent en plusieurs catégories.

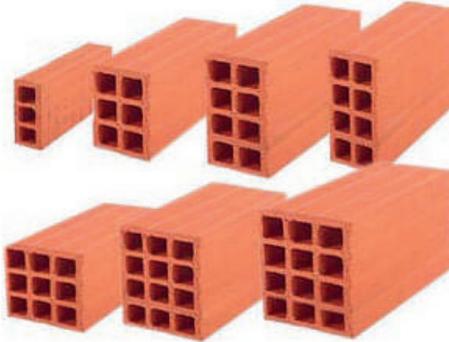


Figure 4.- Briques rouges en terre cuite



Figure 5.- Bloc creux, "parpaing béton creux 20x20x50"

Le bloc creux, aussi appelé "parpaing béton creux" 20x20x50 est idéal pour la construction des murs porteurs (façade et intérieur), murs de clôture, garage...

Généralement, la structure des bâtiments au Maroc, notamment en tertiaire et logement collectif, est constituée :

- d'une ossature poteaux et poutres ou portique en béton armé ;
- d'une enveloppe extérieure, selon le type de bâtiment, en murs simples en briques rouges creux, ou murs doubles avec lame d'air, ou de murs simples en parpaings. Les toitures, quant à elles, se composent d'un système de planchers à hourdis en béton granulé ou de dalles pleines en béton armé.



Figure 6.- Dalle en béton



Figure 7.- Chantier de construction: Dalle porteuse en béton (l'étage supérieur en phase de coffrage). On peut observer les armatures métalliques pour la structure de l'étage supérieur.



Figure 8.- Projet de construction en chantier

4.3. LES MATÉRIAUX D'ISOLATION

Un isolant thermique, selon la NF P 75-101, est un produit qui réduit par sa présence, les échanges thermiques à travers la paroi sur ou dans laquelle il est placé. Un produit isolant thermique est caractérisé par sa résistance thermique exprimée en $m^2 K/W$ et par sa conductivité thermique, exprimée en $W/m^2 K$. Par convention, on considère qu'un produit, destiné au bâtiment, peut être défini comme isolant thermique si le rapport de son épaisseur à sa résistance thermique (ou dans le cas de produits en vrac, de l'épaisseur mise en œuvre à sa résistance thermique) est au plus égal à $0,065 W/m. K$ et si sa résistance thermique est au moins égale à $0,5 m^2 K/W$.

Dans le passé, l'utilisation des matériaux d'isolation au Maroc a été plutôt limitée, étant donné l'absence d'un cadre réglementaire qui oblige la mise en œuvre des actions appropriées en matière d'efficacité énergétique dans les bâtiments. Les matériaux utilisés ne diffèrent pas significativement de ceux que l'on trouve sur les deux rives de la Méditerranée: laine minérale, de roche et de verre, mousses en polyuréthane ou en polystyrène, etc.

4.4 LES DIFFÉRENTS MODES DE CONSTRUCTION AU MAROC

La typologie du bâtiment marocain est centrée sur le développement des deux secteurs: le résidentiel et le tertiaire, quoique, sans sous-estimer le secteur industriel (usines, centres logistiques, etc.) et le secteur de l'agriculture (étables, hangars, chambres frigorifiques), qui constituent un facteur important pour le développement du pays.

Les modèles de construction en termes de typologie du bâtiment, maintiennent ce qui est traditionnel au Maroc, qui s'adapte si bien à grande vitesse à une tendance qui vise à conjuguer les technologies modernes de construction des pays les plus avancés, avec les habitudes traditionnelles typiques de l'architecture marocaine. Le résultat final cherche un confort optimal des usagers, tout en respectant le patrimoine culturel.

Le secteur résidentiel marocain est généralement composé de six types de bâtiments:

- La villa: construction isolée, généralement composée au plus de 2 étages et dotée d'un jardin.
- L'appartement en immeuble: individualisé, il se trouve dans un même étage avec deux, trois ou plus d'appartements.

- La maison marocaine traditionnelle: se trouve en général dans les anciennes médinas; elle présente une cour centrale (patio) à l'intérieur qu'entourent des chambres d'habitation.
- La maison marocaine moderne: Construction d'une structure individualisée à un ou plusieurs étages.
- La construction sommaire ou bidonville: C'est une construction très sommaire dans les bidonvilles, baraques ... faite avec des matériaux de récupération, aggloméré, pierre sèche...
- L'habitat rural: Généralement intégré dans le périmètre urbain, il garde des caractéristiques où l'activité agricole est dominante.

La Fédération Nationale des Promoteurs Immobiliers et le Ministère de l'Habitat, de l'Urbanisme et de l'Aménagement de l'Espace, ont procédé à définir une trame de catégorisation reposant sur une matrice de paramètres et de critères de classification. Il s'agit d'un référentiel technique qui porte sur tous les aspects qualitatifs et les normes spécifiques à chaque catégorie de logement.

Les différents standings des logements seraient définis par des critères réglementaires bien précis. Un logement sera classé à:

- Faible valeur immobilière totale (VIT);
- Social;
- Économique;
- Moyen standing;
- Haut standing.

Sur la base de 4 critères, à savoir:

- L'environnement du logement (le quartier);
- La sécurité;
- La qualité des constructions;
- Les garanties et assurances des ouvrages.

Pour chaque critère, le logement sera noté selon une grille préétablie et le score total définira dans quelle catégorie il sera classé.

Dernièrement, le Maroc a fait un énorme effort pour la construction des logements économiques, dans le cadre de la lutte contre le logement insalubre. Il s'agit de logements moyen standing, ou logements sociaux (50-65 m²/logement), dont le développement est renforcé par certains programmes gouvernementaux (VSB...).

Catégorie du logement	VIT	Social	Economique et Moyen standing	Haut Standing
Coût approximatif à l'acquisition (DH)	140'000	150'000	400'000 à 600'000	Plus de 600'000

Tableau 2.- Classement des catégories des logements par prix

La typologie de construction, en général, est assez similaire dans les différents types de bâtiments:

- Les murs extérieurs à double cloison, sont généralement composés (depuis l'extérieur vers l'intérieur) de:
 - un enduit extérieur en mortier bâtard : ciment et sable;
 - des briques extérieures céramiques à 8 trous (10.5 cm d'épaisseur);
 - de l'air ;
 - des briques intérieures à 6 trous (7 ou 6.5 cm d'épaisseur);
 - un enduit intérieur.
- On peut aussi avoir un mur extérieur simple en agglomérés de granulats (plus connus sous le nom d'aglo).
- Pour les bâtiments du secteur tertiaire, au cours des dernières années, il ya eu un grand nombre de bâtiments utilisant le concept de façade ventilée: La façade ventilée est un système de construction de revêtement extérieur constitué par une paroi intérieure, une couche isolante, et une paroi extérieure non étanche. Ce type de façade permet généralement des finitions durables et de haute qualité, et offre de bonnes prestations thermiques. Toutefois, elle présente un coût élevé.



Figure 9.- Bâtiment résidentiel collectif Moyen Standing (Source: ADEREE)



Figure 10.- Projet de logement social (Source: Groupe Al Omrane)

Le secteur du logement haut standing est entrain de se développer lui aussi de manière satisfaisante, généralement grâce à l'intérêt croissant des investissements étrangers dans le marché immobilier marocain.



Figure 11.- Appartements Haut Standing

Le secteur tertiaire, connaît également un important développement, avec des investissements publics comme privés, qui permettra une amélioration considérable des infrastructures marocaines.

Cette activité est centrée dans les types de bâtiments suivants, en fonction de leur utilisation:

1. Hôpitaux



Figure 12.- Hôpital Ibn Sina à Rabat

2. Bâtiments du secteur de l'enseignement : écoles et centres universitaires



Figure 13.- Ecole HEEC à Rabat

3. Centres administratifs et bureaux



Figure 14.- Parc Technologique Technopolis à Rabat

4. Hôtels et équipements touristiques



Figure 15.- Hôtel à Marrakech

4.5. NORMES LIÉES A L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

Au Maroc, il existe un large éventail de normes relatives à l'efficacité énergétique, comme mentionné à l'annexe 9.6.

5. TECHNIQUES D'ISOLATION

5.1. BENCHMARK DU SECTEUR AU NIVEAU DES PAYS DU BASSIN MÉDITERRANÉEN

Compte tenu des enjeux énergétiques que couvre le secteur des bâtiments dans les pays en développement et tout particulièrement dans les pays du sud de la méditerranée, la plupart de ces derniers ont adopté des mesures d'ordre réglementaire ou normatif pour l'Efficacité Énergétique EE dans les bâtiments, comme le montre le tableau suivant:

Pays	Etat de la réglementation
Jordanie	Norme d'isolation thermique en 1990 Code d'EE dans les bâtiments obligatoire (en cours d'adoption)
Liban	Norme d'isolation thermique en 2005, révisée en 2010
Syrie	Code d'EE dans les bâtiments obligatoire en 2008
Turquie	Norme d'isolation thermique en 2000 Norme obligatoire
Algérie	Document Technique Réglementaire (DTR) en 1996 Obligatoire depuis 2000
Tunisie	Réglementation thermique obligatoire pour bureaux en 2008 Réglementation thermique obligatoire pour résidentiel collectif en 2009 Norme d'isolation thermique obligatoire en 1998
Egypte	Code d'EE dans les bâtiments pour résidentiel obligatoire en 2003 Code d'EE dans les bâtiments pour tertiaire volontaire en 2005

Tableau 3.- Réglementation Thermique (source: ADEREE)

Toutefois, dans la réalité, le niveau d'opérationnalité de ces mesures diffère sensiblement d'un pays à un autre. Les deux pays où la réglementation thermique est relativement bien appliquée sont la Turquie et la Tunisie. En effet, dans ces deux pays, la réglementation a été élaborée selon un processus global basé sur une large concertation avec l'ensemble des parties prenantes et associées à des programmes d'accompagnement et renforcement des capacités des concepteurs, des opérateurs et des fournisseurs des matériaux d'isolation. De manière générale, le retour d'expériences de ces pays montre l'importance de la qualité du processus d'élaboration de la réglementation comme un facteur clé de son applicabilité effective.

Avec le présent processus lancé au Maroc, le pays est sur le chemin de combler le retard par rapport aux autres pays ayant mis en œuvre des réglementations thermiques des bâtiments obligatoires.

La situation dans la rive nord de la Méditerranée est différente, étant donné que tous les pays (l'Espagne, la France, l'Italie ou la Grèce), appartiennent à l'Union Européenne et sont engagés à converger vers une réglementation d'efficacité énergétique commune à l'horizon de 2020.

A cette date, les bâtiments de l'Europe du Sud, devront être adaptés à la Norme des Bâtiments à consommation Énergétique quasi Nulle (NZEB), dont la demande énergétique annuelle soit inférieure à 15 kWh/m²an. Cela impliquera le recours aux solutions d'isolation de l'enveloppe opaque du bâtiment, qui multiplient par trois ou quatre les épaisseurs moyennes réglementaires actuelles de l'isolant, dans la zone de la Méditerranée du Sud.

De même, les baies vitrées et fenêtres seront concernées par l'utilisation des verres réfléchissants dans les fenêtres à triple vitrage, avec les protections solaires appropriées.

5.2. LES MATÉRIAUX ISOLANTS

Au Maroc, certains matériaux isolants sont produits localement, comme par exemple, le polystyrène expansé (EPS) et le liège aggloméré, produit naturel et abondant dans le pays.

En outre, d'autres matériaux sont traditionnellement utilisés, qui ne peuvent être considérés comme isolants thermiques selon la norme NF P 75-101, étant donné que leur conductivité thermique λ est supérieure à 0,065 W/mK. Parmi ces matériaux, on trouve le béton cellulaire ; les bétons allégés avec du polystyrène ou avec des billes de verre ; les bétons de perlite, de vermiculite ou d'argile expansée ; ainsi que les briques d'adobe fabriquées à partir de la terre extraite dans la région nord du Maroc.

L'origine des matériaux isolants est essentiellement européenne à l'exception de quelques-uns de fabrication locale, comme c'est le cas de la mousse en polystyrène expansé (EPS) ou en liège aggloméré, naturel et abondant dans le pays.

5.2.1. Les différents types d'isolants existants sur le marché national et étranger (notamment en bassin méditerranéen)

Sur le marché, il existe potentiellement une large gamme de produits isolants, tels que la mousse de polystyrène expansé (EPS); la mousse de polyuréthane / polyisocyanurate (PUR/PIR); la mousse de polystyrène extrudé (XPS), la laine minérale (MW), la vermiculite, etc...

Toutefois, il existe des alternatives vertes ou éco, mais la maturité de marché de ces produits limite leur usage. Ces produits sont, en général des sources bio ou recyclées, tels que la fibre de chanvre, le liège expansé, la ouate de cellulose, la fibre de lin, la laine de mouton, etc...

Ci-après, une classification des matériaux isolants utilisés, selon l'origine de la matière première utilisée.

Types d'isolants thermiques par ressource utilisée			
Organique Synthétique	Minérale	Organique naturelle: Végétale	Recyclée
Polystyrène expansé	Laine de verre	Liège aggloméré	Ouate de cellulose
Polystyrène extrudé	Laine de roche	Fibre de bois	Fibre de polyester
Polyuréthane	Vermiculite	Fibre de chanvre	
Polyisocyanurate	Perlite	Fibre de lin	
Mousse phénolique	Verre cellulaire	Laine de mouton	
Polypropylène expansé			
Mousse de polyéthylène			
Mousse élastomère			

Tableau 4.- Classification des types d'isolants par ressource

Ce chapitre décrit, plus en détail, les caractéristiques des matériaux isolants les plus utilisés dans la zone méditerranéenne, comme par exemple la mousse de polystyrène expansé (EPS); la mousse de polyuréthane/polyisocyanurate (PUR/PIR); la mousse de polystyrène extrudé (XPS) et la laine minérale (MW).



Figure 16.- Produit de laine minérale

Les Isolants en Laines Minérales sont des produits obtenus par un entrelacement des filaments de matériaux en pierre, formant ainsi un feutre qui maintient l'air en état

immobile. Grâce à leur structure enchevêtrée, les laines minérales sont des matériaux poreux qui emprisonnent de l'air, ce qui leur donne cette caractéristique isolante. On y distingue deux grandes familles: la laine de verre et la laine de roche, obtenues par la fonte du sable ou des roches basaltiques, respectivement.

Le Polystyrène Expandé (EPS) est un matériau plastique cellulaire et rigide fabriqué à partir du moulage des billes pré-expandées (en utilisant du gaz pentane) du polystyrène expansible ou un copolymère de celui-ci, qui présente une structure cellulaire fermée et remplie d'air.

Le Polystyrène Extrudé (XPS) est une mousse rigide, isolante, à caractère thermoplastique et de structure cellulaire fermée, formée dans un procédé d'extrusion en utilisant des polymères styréniques, des additifs colorants, d'agents nucléants et des produits de gonflement.

Le Polyuréthane/ Polyisocyanurate (PUR/PIR), sous forme de panneaux rigides revêtus sur une ou deux faces d'un film synthétique, est fabriqué grâce au mélange et la réaction chimique de deux composants principaux (isocyanate et polyol) tout en y ajoutant certains agents additifs et produits de gonflement.

En plus des matériaux mentionnés, il existe d'autres matériaux isolants tels que l'argile expansée, le liège, la laine de bois, la perlite expansée, la vermiculite exfoliée ou encore la laine de chanvre, qui sont utilisés comme solutions pour certaines applications plus spécifiques. Certains d'entre eux seront traités dans d'autres chapitres de ce guide. Les fiches synthétiques des principaux isolants sont présentées en annexe 9.4.

L'isolation thermique est un volet important dans l'efficacité énergétique des bâtiments. Elle permet de réduire les coûts énergétiques tout en améliorant les conditions de confort. Les avantages d'une bonne isolation thermique sont:

- La réduction des coûts de la facture énergétique de l'utilisateur et du pays : En effet, avec une isolation adéquate, les pertes thermiques dans le bâtiment sont réduites, et par conséquent les coûts générés par le chauffage et climatisation (hiver/été) sont réduits, ce qui nous permet ainsi de réaliser des économies d'argent sur notre facture d'énergie et, de manière globale, de réduire la consommation du pays.
- L'amélioration du rendement des installations thermiques en évitant les pertes énergétiques, grâce à l'isolation des réseaux de distribution de chaleur/froid.
- L'amélioration du confort thermique et du bien-être pour l'utilisateur: Le confort thermique est défini comme un état de satisfaction vis-à-vis de l'environnement thermique. Un bâtiment thermiquement isolé contribue au bien-être de l'utilisateur, en maintenant la température de confort à l'intérieur du bâtiment, aussi bien en été qu'en hivers.
- La réduction des émissions des gaz à effet de serre (en particulier le CO₂): Les chaudières à gaz, à fioul ou au charbon émettent des gaz de combustion (CO₂ et autres). Il en est de même pour la production en amont de l'électricité dans les centrales, qui provoque des émissions de CO₂. Un bâtiment bien isolé thermiquement, contribue à la réduction de la consommation énergétique des systèmes de chauffage et de climatisation et, par conséquent, à la réduction des émissions des gaz à effet de serre.
- L'élimination des condensations d'eau, en éliminant l'humidité intérieure, responsable de l'apparition de la moisissure

- L'amélioration de l'étanchéité acoustique du bâtiment.
- La revalorisation du bâtiment, en améliorant ses performances énergétiques.

5.2.2. Propriétés physiques des matériaux isolants

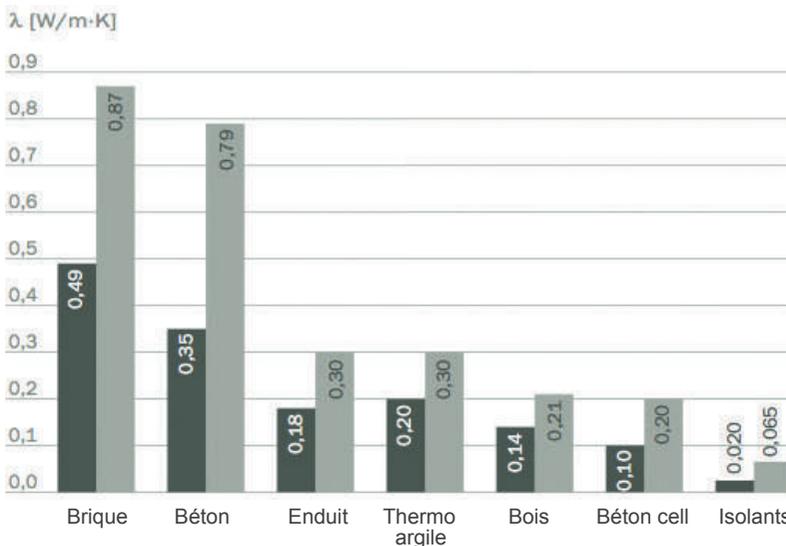
Conductivité thermique des isolants (EN 12667)

Les isolants thermiques réduisent « fortement » le **Coefficient de Transmission Thermique (valeur U)** au travers la surface de l'enveloppe du bâtiment. Ou inversement, ce qui revient à dire, augmenter autant que possible la **Résistance Thermique (R) de l'enveloppe**.

Le coefficient de transmission thermique U, exprimé en $W/(m^2.K)$, d'une paroi correspond au taux d'écoulement de chaleur en régime permanent divisé par mètre carré de surface et par la différence de température entre les environnements situés de part et d'autre de ladite paroi. La Résistance thermique R, exprimée en $(m^2.K/W)$, est l'inverse du coefficient de transmission thermique. (Voir détail en annexe 9.1 : Glossaire).

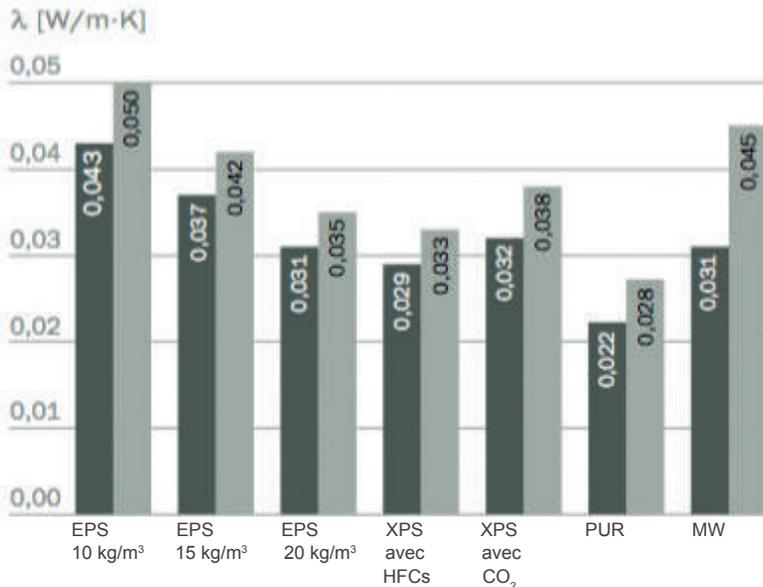
Si l'on dit « fortement » c'est parce qu'il faut faire la différence entre les prestations thermiques offertes par un isolant thermique proprement dit, et celles offertes par tout autre matériau de construction. **La valeur qui définit ces prestations est la conductivité thermique, λ (lambda)**. En résumé, les isolants thermiques présentent de très faibles valeurs de conductivité et isolent thermiquement de façon particulièrement «intense», comme le montre le graphe 5, avec une différence d'ordre de grandeur par rapport aux autres matériaux.

Deux colonnes sont présentées pour chaque groupe de matériaux, représentant les valeurs minimum et maximum habituels dans la gamme des conductivités typiques de chaque groupe.



Graphe 5.- Gammes typiques de valeurs de λ des divers matériaux de construction (Source: Association Ibérique de polystyrène extrudé AIPEX)

Dans le marché, les valeurs de conductivité thermique se situent entre 25 et 50 mW/m.°C (0,025 et 0,05 W/m.°C). Comme règle empirique, valide dans la plupart des solutions de construction, nous pouvons prendre 1 cm supplémentaire nécessaire d'épaisseur d'isolant thermique pour chaque différence de conductivité thermique de 7 à 8 mW/m°C. Autrement dit, ces 25 mW/m°C de différence (50-25 = 25 mW/m°C) peuvent représenter une différence d'épaisseur d'environ 3 à 4 cm, pour obtenir une même prestation thermique.



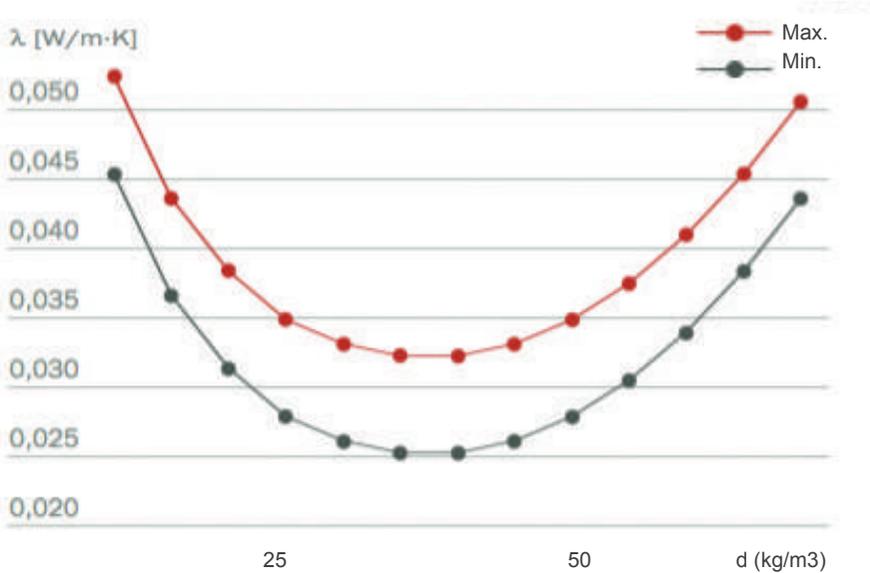
Graph 6: Gammes typiques de valeurs de λ des divers isolants thermiques (Source: AIPEX)

Par conséquent, après cette caractéristique fondamentale d'un matériau qui est la conductivité thermique, d'autres propriétés doivent être considérées qui, selon le type d'application, peuvent également avoir une importante influence, dans les performances thermiques de l'isolation ainsi que dans la manière de sa mise en œuvre.

Il arrive que les mousses organiques cellulaires isolantes retiennent, dans leur structure, de l'air ou d'autres gaz à faible conductivité. Par conséquent, le transfert de chaleur à travers celles-ci, implique les trois mécanismes classiques de transfert de chaleur, de la manière suivante:

- Convection: négligeable, étant donnée la taille minimale des cellules qui forment habituellement les mousses.
- La conduction est faible quand il y a moins de matériau (le plastique qui forme la structure cellulaire) pour transmettre la chaleur, mais en même temps, le rayonnement augmente, en réduisant la matière qui peut l'absorber.
- Plus il y a de matériau, l'effet inverse se produit également (conduction excessive en dépit d'un rayonnement faible), de sorte que les deux mécanismes sont compensés.

Le résultat pour ce type de produit, c'est que l'on requiert une conductivité minimale, comme le montre le graph 7, avec deux branches ascendantes, aussi bien pour les faibles densités (inférieures à quelques 25 kg/m³) que pour les densités élevées (en dessus de quelques 50 kg/m³).



Graph 7.- Valeurs de λ en fonction de la densité pour les mousses isolantes organiques. (Source: Association Ibérique de polystyrène extrudé AIPLEX)

Propriétés de résistance à l'humidité

Bien que l'eau n'est pas un matériau de construction « à utiliser » (En dépit des toitures « citernes », où l'on exploite sa capacité calorifique -inertie thermique-, et non son faible pouvoir isolant), toutefois, elle fait partie non souhaitée mais inévitable de la construction. C'est ce qui se produit avec l'infiltration des eaux de pluie, de la neige, du gel, des condensations, de l'eau elle-même utilisée dans la construction du bâtiment, etc... En conséquence, la conductivité thermique des matériaux de construction augmente en absorbant de l'eau, ce qui diminue son potentiel d'isolant thermique. C'est pourquoi, une mise en œuvre correcte et adéquate doit tenir compte du type de matériau à utiliser, ses propriétés intrinsèques et aussi son comportement par rapport à l'humidité.

Dans le cas de certains isolants thermiques, cet effet néfaste peut également se produire, étant donné que l'air et/ou le gaz confinés, qui constituent véritablement l'isolation, peuvent être remplacés par de l'eau, qui elle conduit 25 fois plus de chaleur, ou encore sous forme sa forme solide, l'eau conduit 90 fois plus de chaleur. C'est un phénomène que nous pouvons tous ressentir lorsque nos vêtements sont mouillés.

Résistivité à la diffusion de vapeur (NM EN 12086)

La résistivité à la diffusion de vapeur (facteur sans dimension μ , « mu » ; l'air est considéré comme référence avec valeur unitaire) est une valeur essentielle pour déterminer le degré de risque de condensation d'eau. En effet, la pathologie de l'humidité la plus complexe et difficile à contrôler, est celle dont l'origine découle des processus de condensation, en particulier la condensation interstitielle, c'est à dire, à l'intérieur des enceintes/fermetures/enveloppes.

La raison réside à ce que, bien entendu, l'isolation thermique, le cas échéant, va réduire fortement le flux de chaleur. Comme conséquence, le gradient des températures subit une hausse très forte et continue à travers l'épaisseur de l'isolant. Cela signifie que sur le «côté froid» de l'isolant, la température est très basse et assez proche à celle de l'extérieur. Mais, en même temps, si elle offre peu ou pas de résistance au flux de vapeur ou de diffusion, le résultat est une quantité relativement élevée de vapeur qui atteint des températures froides et, par conséquent, existe une grande probabilité d'atteindre la saturation, c'est-à-dire, la condensation.

Les isolants hygrothermiques n'ont pas besoin que l'on y incorpore un pare-vapeur pour leur installation. En fait, selon la définition classique d'un pare-vapeur, l'on donne habituellement une valeur minimale de résistance à la diffusion de vapeur qui est satisfaite par ces isolants «hygrothermiques». Autrement dit, ces produits sont également considérés comme pare-vapeur (même s'ils ne le sont pas sous la forme la plus connue, laminaire, du pare-vapeur).

Résistance à la compression à court terme (NM EN 826)

Il faudrait évaluer toute application où l'isolation est soumise à des charges permanentes, comme c'est le cas avec de nombreux isolants mis en œuvre dans une toiture plate. Dans ce cas, il faut doter l'isolant d'une résistance supplémentaire. Pour tous les matériaux isolants, la résistance mécanique est donnée en fonction de la densité du matériau.

Plusieurs fois, les tests de résistance à la compression à court terme sont considérés comme si la valeur obtenue est représentative de la résistance du matériau, ce qui est une erreur, car il s'agit d'un essai à court terme au cours duquel l'on atteint la limite de rupture du matériau, non-élastique, ou sa déformation considérée comme équivalente à la rupture, de 10%.

En revanche, il existe des méthodes d'essai et de calcul spécifiques, telles que définies dans la norme NM EN 1606, qui détermine la résistance de l'isolation pour une fluence (déformation sous charge constante) maximale de 2%, le long d'une durée de vie pouvant aller jusqu'à 50 ans. A défaut d'autres références normatives ou officielles, cette valeur peut être considérée comme valeur de conception. Les fabricants des produits qui seront sous charge de l'application donnent cette valeur. En général, c'est généralement une valeur comprise entre 25 et 35% de la valeur de résistance à la compression à court terme (comme celle obtenue du test NM EN 826).

Résistance au feu

Il ne faut pas confondre la réaction au feu d'un matériau de construction avec la résistance au feu d'un élément de construction de partition de renforcement (stabilité, s'il s'agit d'un élément de construction structurel), relative au temps durant lequel l'élément maintienne le feu confiné, en évitant sa propagation (ou, dans le cas de stabilité structurelle, le temps qui se maintient sans être gravement affecté).

En outre, comme indiqué explicitement dans les réglementations les plus avancées, la sécurité en cas d'incendie est garantie de la façon la plus appropriée au moment d'envisager la solution complète de construction. C'est le concept de condition ou d'application d'utilisation finale.

5.2.3. Normalisation et certification des matériaux isolants

Il ya quelques années, les autorités, les universités, les fabricants et les applicateurs de l'isolation thermique dans le monde entier, se sont soumis à un intense processus de normalisation dans le domaine des matériaux isolants, aussi bien en termes de spécifications thermiques des produits, qu'en termes des méthodes de test et des guides de bonnes pratiques de construction en relation avec l'isolation thermique.

Ce processus a permis de relancer et d'améliorer les premières normes élaborées par l'ISO (International Standards Organization) et, à son tour, créer un nouvel organisme européen de réglementation (normes EN), à haut contenu technique et conforme à l'état actuel de la technologie.

Aujourd'hui, le marché marocain est approvisionné de produits d'isolation fabriqués à l'étranger, et à raison de la proximité géographique et technologique, sont des produits fondamentalement d'origine européenne. C'est pourquoi, il est nécessaire de connaître le système de marquage et d'étiquetage des produits d'isolation, pour pouvoir confirmer que le produit appliqué sur place est conforme aux exigences du Règlement Thermique de Construction.

Ci-après, un exemple de cas des informations fournies sur l'étiquette d'un produit isolant avec le symbole CE, tel qu'il apparaît sur l'étiquette dans l'ordre adéquat, selon les méthodes d'apposition du marquage CE.

 Nom ou marque distinctive Adresse déposée du fabricant 2 derniers chiffres de l'année d'apposition marquage CE N° certificat de conformité CE N° EN de cette norme produit Identité du produit				Organisme notifié				code de désignation			
				N° XXXXXXX							
Euroclasse		R m ² .K/W		λ W/m.k		épaisseur mm					
A2		1,35		0,038		50					
S1d0											
m ² /colis		pièces par colis		longueur mm		largeur mm					
3,60		3		1200		1000					
NOM PRODUIT											
XXXXXXXXXX											
N° contrôle + usine											
 En option: profil d'usage ISOLE certifié											
000000000000											
XXXXXX											
AT CSTB N° XX/YY-ZZZZ											
Nom ou marque commercial											

Conductivité Thermique

Propre au matériau.

Ne dépend pas
de l'épaisseur

Résistance Thermique

Dépend de l'épaisseur

Figure 17.- Exemple d'étiquette de produit (Source: ACERMI)

Spécifications thermiques

La caractéristique principale de tout matériau d'isolation thermique est la conductivité thermique. Pour les produits obéissant à la norme EN, le fabricant est tenu de déclarer aussi bien la conductivité thermique du matériau ainsi que sa résistance thermique, associée à l'épaisseur du produit en particulier. Ces deux valeurs doivent être incluses dans le marquage et l'étiquette du produit. Le tableau suivant explique le concept des valeurs thermiques « déclarées ».

Valeurs de Conductivité thermique

Symbole	Unités	Observations
λ_D Conductivité thermique déclarée 0 à 10 °C	W/(m·K)	La valeur déclarée de la Conductivité Thermique est obtenue en arrondissant à la hausse (0,001 W/m·K) la valeur statistique qui représente 90% des produits et 90% de la valeur déclarée. Par exemple: $\lambda_{90/90}=0,0343$ [W/(m·K)] implique $\lambda_D=0,035$ [W/(m·K)]
$R_D = \frac{d_N}{\lambda_{90/90}}$ Résistance thermique déclarée (d_N = épaisseur nominale)	m ² ·K/W	La valeur déclarée de la Résistance Thermique est obtenue en arrondissant à la baisse (0,05 m ² ·K/W) de la valeur statistique qui représente 90% des produits et 90% de la valeur déclarée.

Tableau 5.- Concept des valeurs thermiques « déclarées »

5.3. TECHNIQUES DE MISE EN ŒUVRE POUR LES DIFFÉRENTES APPLICATIONS

5.3.1. Isolation de la toiture plate

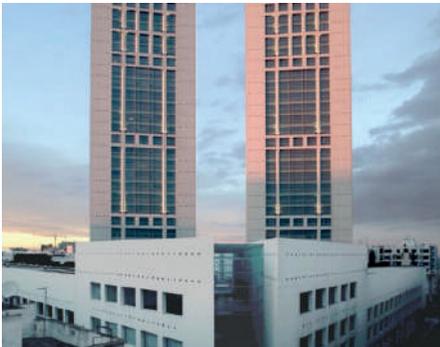


Figure 18.- Twin Center de Casablanca: Un complexe regroupant des commerces, des bureaux et un hôtel 5 étoiles.

A l'origine, la toiture a pour rôle la protection du bâtiment et ses occupants contre les intempéries.

Au fil du temps, la toiture ne constitue plus un élément strictement opérationnel d'un bâtiment, sinon elle devient un élément expressif de l'architecture de chaque époque.

Certains exemples de toitures, non seulement ont doté un bâtiment ou une ville d'une image propre, mais ont fait en sorte de créer des symboles nationaux.

La typologie de la toiture plate est vaste et diversifiée. Il existe plusieurs procédures pour effectuer une classification des différentes toitures plates.

Selon l'ordre de mise en place des couches et des matériaux utilisés, les toitures plates peuvent être classées de différentes façons:

- Par sa ventilation:
 - Froide: Présence d'une cavité entre la structure et le revêtement extérieur.
 - Chaude: le revêtement et l'isolant reposent directement sur la structure.
- Par la disposition de l'isolant:
 - Classique: l'étanchéité est placée au-dessus de l'isolant.
 - Inversée: l'isolant est placé au-dessus de l'étanché.
- Par sa finition:
 - Accessible: le revêtement supérieur permet l'accès des personnes.
 - Non accessible: le revêtement n'est pas conçu pour l'accès habituel.
 - Végétalisée: la toiture est couverte de végétation, en tant que jardin.
 - Inondée: La toiture est inondée en permanence avec plusieurs centimètres d'eau.

Nous pourrions également envisager une classification des types de toiture plate selon la structure de la dalle, qui peut être en béton, en bois ou en métal.

Au Maroc, la construction typique de la toiture plate se fait en dalle en béton et elle est généralement accessible et carrelée. Toutefois, il existe des toitures de type non accessible ou encore végétalisée dans le secteur tertiaire, mais en très faible pourcentage.

Les solutions d'isolation apportées dans le présent guide, sont centrées donc, pour la toiture chaude, c'est-à-dire : sans cavité, en dalle en béton, en variant la disposition du matériau isolant, selon le type de celui-ci: le polystyrène extrudé (XPS), le polystyrène expansé (EPS), le polyuréthane (PUR) ou la laine minérale (MW).

Les épaisseurs minimales recommandées pour répondre aux exigences du Règlement Thermique de Construction, dans cette section, sont répertoriées dans le tableau suivant:

Zone climatique	Taux des baies vitrées TGBV	épaisseur XPS, mm	épaisseur EPS, mm	épaisseur PUR, mm	épaisseur MW, mm
Z1	0-15%	40	40	30	40
	16-25 %	40	40	30	40
	26-35%	40	40	30	40
	36-45%	40	50	40	50
Z2	0-15%	40	40	30	40
	16-25 %	40	50	40	50
	26-35%	40	50	40	50
	36-45%	50	60	50	60

Zone climatique	Taux des baies vitrées TGBV	épaisseur XPS, mm	épaisseur EPS, mm	épaisseur PUR, mm	épaisseur MW, mm
Z3	0-15%	40	50	40	50
	16-25 %	40	50	40	50
	26-35%	40	50	40	50
	36-45%	50	60	50	60
Z4	0-15%	50	60	50	60
	16-25 %	50	60	50	60
	26-35%	50	60	50	60
	36-45%	60	60	50	70
Z5	0-15%	40	50	40	50
	16-25 %	40	50	40	50
	26-35%	50	60	50	60
	36-45%	60	60	50	70
Z6	0-15%	40	50	40	50
	16-25 %	40	50	40	50
	26-35%	50	60	50	60
	36-45%	60	60	50	70

Tableau 6.- Epaisseurs minimales à appliquer en isolation de toitures plates avec du polystyrène extrudé (XPS), polystyrène expansé (EPS), polyuréthane projeté (PUR) et laine minérale (MW).

N.B.: Les épaisseurs des isolants sont arrondies à celles existantes dans le marché.

Toitures plates avec du polystyrène extrudé (XPS)

Lorsque les toitures plates sont réalisées selon le système classique, la membrane d'étanchéité est placée sur l'isolant thermique, qui repose directement sur la dalle de la toiture. Ce système présente quelques inconvénients:

- la membrane est exposée à des contraintes mécaniques considérables;
- le risque de condensation augmente, dû à la fois à l'humidité inhérente des matériaux de construction, comme l'accumulation d'humidité à l'intérieur de la structure;
- l'impact dû aux variations brusques de température ainsi que les rayonnements ultraviolets, provoquent un vieillissement prématuré de la couche imperméable.

L'application du système de toiture inversée consiste à installer un isolant thermique avec des caractéristiques d'absorption de l'eau quasi-inexistante, comme le cas du Polystyrène extrudé XPS, au-dessus de la membrane d'étanchéité, tout en la

protégeant. La finition est réalisée en couvrant les panneaux d'isolation avec une protection lourde, comme le gravier ou les carreaux de pavage.

Le système de Toiture Inversée présente une série d'avantages tels que:

- une plus longue durée de l'étanchéité, étant donné que le XPS maintient la membrane d'étanchéité à une température pratiquement constante, en la protégeant contre les changements brusques de température, la chaleur excessive et le gel. Il la protège également contre les rayons ultraviolets et les contraintes mécaniques.
- élimine le risque de condensation, car la structure des cellules fermées du polystyrène extrudé élimine le risque des infiltrations et de condensation interstitielle. Le point de rosée est au-dessus de l'étanchéité, ce qui empêche la condensation. En général, il n'est pas nécessaire d'utiliser un pare-vapeur, parce que la membrane d'étanchéité elle-même agit en tant que telle, en se trouvant dans la «zone chaude» de la toiture.

Mise en œuvre, en cas de construction neuve :

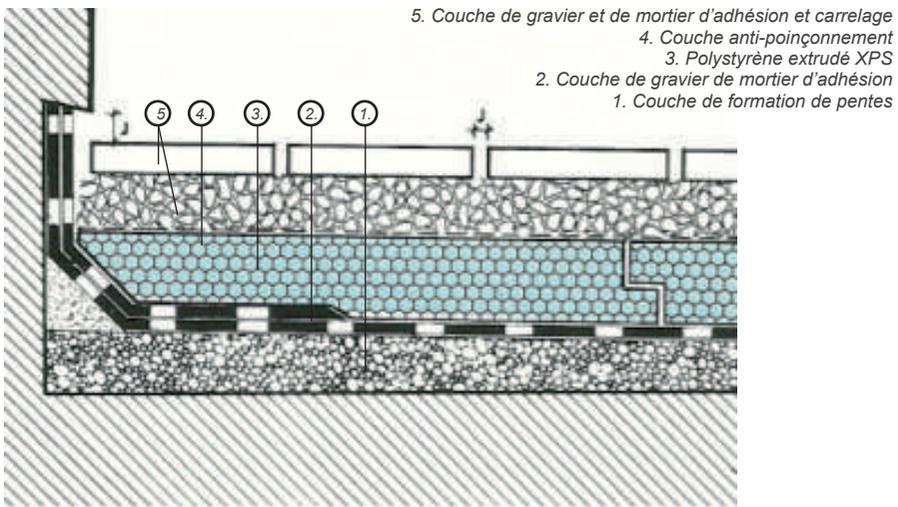


Figure 19.- Disposition typique de toiture inversée, avec pose de carrelage

1. Couche de formation de pentes. - Sur la dalle de la toiture, l'on doit mettre en place une couche de mortier, pour la formation de pentes avec une inclinaison minimale de 1%. Cette couche sert en même temps de couche du nivellement du support.
2. Etanchéité. - Sur la couche antérieure, la feuille d'étanchéité est installée, selon le procédé approprié de fixation ou de soudure.
3. Isolation. – L'épaisseur (ou bord du périmètre) des plaques du XPS, facilite le placement et l'ajustement de celles-ci, en évitant les ponts thermiques. Les plaques doivent être coupées de manière à s'adapter parfaitement à tous les points élevés et les éléments verticaux de la toiture. La mise en place des plaques se fait au-dessus de la membrane imperméable, en veillant à ce qu'elles couvrent toute la

surface de la toiture et qui soient bien juxtaposées. Cette mise en place des plaques doit commencer par le point d'accès le plus proche de la toiture au-dessus de la feuille imperméable, pour que les matériaux pour la finition puissent être entraînés à travers de la membrane déjà protégée.

4. Couche anti-poinçonnement.- Sur les plaques du XPS, il est nécessaire de placer une couche de filtration ou de géotextile, pour protéger la feuille d'imperméabilisation des dommages causés par les sédiments que l'eau de pluie pourrait traîner en dessous de l'isolation.
5. Couche de finition.- Dans la solution classique, sur la couche anti-poinçonnement, une couche de gravier est placée (3 à 7 mm de diamètre) d'environ 2 cm, qui fonctionne en tant que couche de diffusion. Au-dessus du gravier, le mortier est versé avec une épaisseur de 3 à 5 cm et de consistance sèche, armé d'un grillage galvanisé, pour une meilleure répartition. Le carrelage est placé sur cette couche.

Drains -. Les puisards de drainage doivent être logés dans les panneaux du XPS et doivent être protégés avec une grille. De même, les conduits de drainage doivent être protégés avec un isolant, pour éviter la production des ponts thermiques, par discontinuité ou rupture de l'isolation.

Mise en œuvre en cas de rénovation:

Dans les terrasses, il peut être particulièrement recommandé et facile à installer, étant donné que le support apporté par la dernière dalle permet de travailler aisément et en toute sécurité.

En outre, le XPS garantit la durabilité des propriétés thermiques, en installant les panneaux isolants sur l'étanchéité; ce qui lui offre une protection supplémentaire, dans le concept de «toiture inversée».

Il existe, par ailleurs, des fournisseurs de carrelage isolant avec une base isolante intégrée de XPS. Ainsi, en plus d'obtenir une isolation de terrasse rénovée, la finition permet l'accès à toute la surface de celle-ci.

Toitures plates isolées avec du polystyrène expansé (EPS)

Le polystyrène expansé (EPS) comme isolant thermique est mis en œuvre dans des toitures chaudes classiques, c'est à dire, là où l'isolant se trouve en dessous de l'étanchéité.

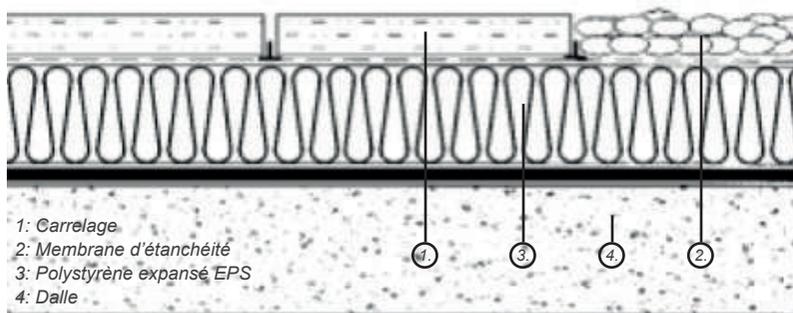


Figure 20.- Toiture terrasse avec EPS

Mise en œuvre, en cas de construction neuve:

1. Couche de formation de pentes. - Sur la dalle de la toiture, l'on doit mettre en place une couche de mortier, pour la formation de pentes avec une inclinaison minimale de 1%. Cette couche sert en même temps de couche du nivellement du support.
2. Isolation.- Les plaques doivent être coupées de manière à s'adapter parfaitement à tous les points élevés et aux éléments verticaux de la toiture. La mise en place des plaques se fait au dessus de la couche de formation des pentes, en veillant à ce qu'elles couvrent toute la surface de la toiture et qui soient bien juxtaposées.
3. Etanchéité. - Sur la couche antérieure, la feuille d'étanchéité est installée, selon le procédé approprié de fixation ou de soudure.
4. Couche de finition.- Dans la solution classique, une couche de gravier est placée, (3 à 7 mm de diamètre) d'environ 2 cm, qui fonctionne en tant que couche de diffusion. Au-dessus du gravier, le mortier est versé avec une épaisseur de 3 à 5 cm et de consistance sèche, armé d'un grillage galvanisé, pour une meilleure répartition. Le carrelage est placé sur cette couche.

En cas de rénovation:

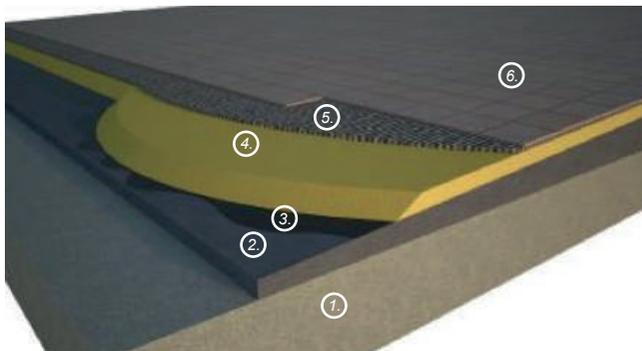
Dans les terrasses, le polystyrène expansé (EPS), peut être particulièrement recommandé et facile à installer, étant donné que le support apporté par la dernière dalle permet de travailler aisément et en toute sécurité.

Au moment de considérer l'isolation de la toiture inversée avec du EPS, comme option dans un projet de rénovation, les facteurs suivants doivent être pris en compte:

- L'état de la feuille d'étanchéité.
- La capacité de la structure porteuse originale, pour soutenir la charge supplémentaire du nouveau système avec l'isolation EPS.
- Les différents aspects de drainage, et des points de rencontre avec les hétérogénéités de la toiture.

Toitures plates avec polyuréthane projeté (PUR)

Dans la construction de ce type de toitures, les différentes couches qui la constituent, de l'extérieur à l'intérieur, sont :



- 6- Revêtement de sol (carrelage)
- 5- Couche de compression de mortier, nécessaire en cas d'étanchéité en asphalte.
- 4- PUR, Densité 45 kg/m³
- 3- Pare-vapeur fixé in situ (émulsion d'asphalte ou bitumineuse)
- 2- Formation des pentes
- 1- Support solide (Dalle)

Figure 21.- Disposition d'une toiture-terrasse plate avec du Polyuréthane Projeté (PUR). (Source: IPUR, Association de l'Industrie du Polyuréthane Rigide de l'Espagne)

Mise en œuvre en cas de construction neuve:

1. Dans les toitures plates accessibles, la projection du polyuréthane devrait être réalisée avec une résistance à la compression d'au moins 200 kPa (densité 45 kg/m³).
2. Dans le processus de mise en œuvre sur la couche de formation de pentes, une émulsion bitumineuse est appliquée, servant de pare-vapeur. Sur laquelle, est pulvérisée la mousse de polyuréthane de densité de 45 kg/m³.
3. L'épaisseur prescrite est obtenue par couches successives de l'épaisseur recommandée par le fabricant. Le traitement des points singuliers est essentiel pour assurer l'étanchéité. Il est important d'étendre l'application sur les plinthes pour garantir cette étanchéité. Le rendement d'un équipement de projection dans la toiture plate, peut atteindre 800 m² par jour.
4. Sur la mousse, on applique une couche de compression d'environ 5 cm de mortier. En suite, on met en place la feuille bitumineuse d'étanchéité. En fin, la finition sera effectuée par la mise en place des carreaux fixés avec du mortier.

En cas de Rénovation:

Dans le cas du polyuréthane projeté, l'application est très similaire aussi bien dans la construction neuve que dans la rénovation. Dans ce dernier cas, une attention particulière est accordée à l'état du substrat de la toiture, sur lequel l'intervention est effectuée:

- état de la membrane d'étanchéité
- résistance pour soutenir des surcharges de structures, risque de condensation et occlusion de l'eau liquide formée.

5.3.2. Isolation de la toiture inclinée

Il peut y avoir, comme dans le cas des toitures plates, deux principaux types de toiture inclinée ou toiture en pente, selon l'existence d'une cavité ventilée. Dans ce cas, on peut parler d'une toiture froide, ou toiture chaude.

Toiture froide:

Nous pouvons distinguer deux cas, selon que la cavité soit formée dans le même plan de la charpente (sous la charpente, il existe donc un grenier ou espace «habitable»), ou bien cette cavité est formée entre la charpente et le support horizontal (dalle) de la toiture (existence sous la charpente, d'un espace «inhabitable»): cavité ventilée formée dans la charpente, de sorte que l'on obtient une aération en profondeur «croisée» sous la tuile, jouant le rôle de support de celle-ci.

Toiture chaude:

En dépit de ne pas disposer, comme expliqué, d'une cavité ventilée proprement dite, il existe habituellement au moins une «micro-ventilation» entre les tuiles et leur support, donnée simplement par la forme des tuiles et leur ajustement à sec, descellées, comme des écailles, qui font que l'espace entre les tuiles et le support

«respire». Cela est souhaitable, afin de faciliter, en particulier dans des conditions hivernales, la sortie de l'excès d'humidité qui pourrait être coincé sous les tuiles, qui risque de les endommager.

L'isolation, dans ce type de toiture chaude, peut être mise en œuvre ou directement sous les tuiles (entre celles-ci et la structure de la charpente), ou, sinon, à l'intérieur, comme un faux-plafond.

Revenant au premier cas, si l'isolation est mise en œuvre sous la tuile, alors il existe deux options selon si elle supporte ou pas la surcharge directe des tuiles.

Compte tenu de la pente d'une toiture inclinée, pour qu'une isolation thermique soit un bon support direct des tuiles, fixées de manière traditionnelle, il faut s'assurer qu'il n'y ait pas de déplacement des tuiles en glissant sur l'isolant. Par conséquent, la finition de la surface de l'isolant doit être, de sorte que le mortier de fixation des tuiles soit solidement ancré à l'isolant.

Zone climatique	Taux des baies vitrées TGBV	épaisseur XPS, mm	épaisseur EPS, mm	épaisseur PUR, mm	épaisseur MW, mm
Z1	0-15%	40	40	30	40
	16-25 %	40	40	30	40
	26-35%	40	40	30	40
	36-45%	40	50	40	50
Z2	0-15%	40	40	30	40
	16-25 %	40	50	40	50
	26-35%	40	50	40	50
	36-45%	50	60	50	60
Z3	0-15%	40	50	40	50
	16-25 %	40	50	40	50
	26-35%	40	50	40	50
	36-45%	50	60	50	60
Z4	0-15%	50	60	50	60
	16-25 %	50	60	50	60
	26-35%	50	60	50	60
	36-45%	60	60	50	70

Zone climatique	Taux des baies vitrées TGBV	épaisseur XPS, mm	épaisseur EPS, mm	épaisseur PUR, mm	épaisseur MW, mm
Z5	0-15%	40	50	40	50
	16-25 %	40	50	40	50
	26-35%	50	60	50	60
	36-45%	60	60	50	70
Z6	0-15%	40	50	40	50
	16-25 %	40	50	40	50
	26-35%	50	60	50	60
	36-45%	60	60	50	70

Tableau 7.- Epaisseurs minimales en isolation de toitures inclinées avec du polystyrène extrudé (XPS), polystyrène expansé (EPS), polyuréthane projeté (PUR) et laine minérale (MW)

N.B.: Les épaisseurs sont arrondies à celles qui existent sur le marché.

Toiture inclinée isolée avec le XPS

Dans les toitures inclinées, les tuiles d'ardoise, la céramique ou le béton, sont mis en œuvre moyennant le clouage sur une dalle ou table inclinée, qui forme la pente de la toiture. La cavité ventilée entre la tuile et l'isolation garantit la non-formation des condensations d'eau, et empêche la surchauffe du toit due au rayonnement solaire. En plus, l'existence de cette cavité permet l'exploitation de l'espace sous ladite toiture.

1. La surface de la dalle est nivelée moyennant une couche de mortier ou de ciment colle, si nécessaire.
2. Les panneaux de XPS sont placés sur la pente de la toiture. Il se peut qu'une fixation mécanique provisoire soit nécessaire, afin d'éviter le glissement des panneaux, lors de la mise en place des autres éléments de la toiture.
3. Sur les panneaux, des listons en bois sont fixés, dans le sens de la pente (habituellement, section 40x40 à 60x60 mm, à une distance entre les listons de 45 à 75 cm) moyennant des clous ou des attaches qui, en traversant l'isolant, demeurent ancrés dans la dalle ou la structure de support. Les listons permettent une fixation définitive des panneaux d'isolation XPS, en laissant un espace ventilé évitant les contraintes thermiques au niveau des tuiles.
4. Sur les raccords verticaux, des listons horizontaux (section 40x20 mm) sont fixés à la distance indiquée dans la fiche produit de la tuile.
5. Les tuiles de la toiture sont fixées sur le liston antérieur.

En cas de Rénovation:

Cette application est particulièrement recommandée dans les cas où l'espace en dessous de la toiture, n'est pas accessible. Ou bien, l'on profite de la rénovation des tuiles pour mettre en œuvre l'isolation thermique à la structure (charpente) formant la toiture.

Cette opération exige que l'on soulève les tuiles et l'on réalise une structure qui permet la fixation de l'isolant thermique, avant de placer les nouvelles tuiles.

Toiture inclinée isolée avec l'EPS :



Figure 22.- L'isolation avec de l'EPS en toiture inclinée

En cas de construction neuve:

La mise en œuvre du polystyrène expansé d'EPS dans les toitures inclinées, est très similaire au cas précédent. En effet, dans les deux cas, on utilise le système dénommé Sarking, qui est applicable à toutes les plaques isolantes rigides lorsqu'il s'agit de toiture inclinée.

Le processus à suivre, est résumé en les étapes suivantes :

1. La surface de la pente est nivelée moyennant une couche de mortier ou ciment colle, si nécessaire.
2. Les plaques du polystyrène EPS sont placées sur le côté de la toiture (normalement traversant la pente). Une fixation mécanique provisoire peut être nécessaire, pour empêcher le glissement des plaques, pendant que l'on effectue le montage des autres éléments de la toiture.
3. Les listons en bois sont fixés sur les panneaux, dans le sens de la pente, moyennant des clous ou des fixations qui, en traversant l'isolant, sont ancrés dans la structure porteuse. Les listons permettent la fixation définitive des panneaux isolants, en laissant en espace ventilé qui évite les contraintes thermiques au niveau des tuiles.
4. Sur les listons verticaux, des listons horizontaux sont cloués (section 40x20 mm) à la distance indiquée dans la fiche produit de la tuile.
5. Les tuiles de la toiture sont fixées sur le liston horizontal.



Figure 23.- Disposition des listons (Source: Association Espagnole de Polystyrène Expandé, ANAPE).



Figure 24.- Mise en place des tuiles (Source: ANAPE)

En cas de rénovation:

Cette application est recommandée dans le cas où l'espace sous la toiture n'est pas accessible, ou lorsque l'on réhabilite le toit pour mettre en œuvre l'isolation thermique de la toiture.

Cette opération nécessite le soulèvement du toit et la mise en place d'une structure qui permet la fixation de l'isolant thermique avant de remettre en place les nouvelles tuiles.

Toiture inclinée isolée avec du polyuréthane projeté :

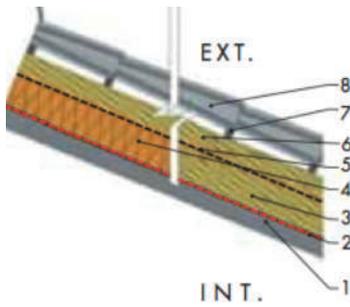


Figure 25.- L'isolation avec du polyuréthane projeté en toiture inclinée

De l'extérieur vers l'intérieur de la toiture, sont énumérés les composants suivants :

1. Tuiles
2. Listons avec lame d'air d'étanchéité avec l'asphalte.
3. PUR: Polyuréthane Projeté. Densité 35 kg/m³.
4. Pare vapeur in situ (émulsion d'asphalte ou de bitume).
5. Support résistant (dalle, plaque de céramique, ..).

Toiture inclinée isolée avec de la laine minérale (MW)



1. Structure languetée
2. Pare-vapeur
3. 1ère rangée de listons en bois
4. Panneau semi-rigide en laine minérale de conductivité thermique 0,032 W/m.K
5. Membrane d'étanchéité
6. 2ème rangée de listons en bois
7. Listons en bois
8. Tuiles

Figure 26.- Description du dispositif (Source : AFELMA, Association des Fabricants Espagnoles des Laines Minérales Isolantes)

En cas de construction neuve:

La fixation de l'isolant sera réalisée en utilisant des ancrages mécaniques d'une longueur minimale égale à l'épaisseur de l'isolant + 30 mm (ou selon les spécifications du fabricant de l'ancrage).

Le nombre minimum des ancrages doit être de 3 à 4 unités/m² de surface, en doublant la quantité dans le périmètre de la toiture et dans les points de rencontre avec des cheminées (si elles existent) ou d'autres éléments de la toiture.

Une cavité sera formée au niveau des points de rencontre de la structure avec les avant-toits et les pignons, de sorte que le panneau de laine minérale soit retenu par les butées formant la cavité. Le plafond en avant-toit doit être dimensionné de manière à retenir l'éventuel glissement des tuiles montées sur celui-ci.

L'on doit éviter que des joints ouverts restent entre les panneaux isolants. Cela provoquera des ponts thermiques dans la toiture.

En cas de rénovation:

Etant donné que cette application nécessite le soulèvement de la toiture, elle est donc particulièrement recommandée dans le cas où l'espace sous la toiture n'est pas accessible, ou lorsque l'on réhabilite le toit pour mettre en œuvre l'isolation thermique de la toiture.

5.3.3. Isolation des murs et parois opaques

L'isolation thermique des murs ou des parois opaques du bâtiment, peut être réalisée selon trois méthodes différentes:

- Isolation par l'extérieur, qui consiste à appliquer une couche de matériau isolant sur la face extérieure du mur. Ce système est très efficace, il limite les ponts thermiques et est particulièrement indiqué dans la réhabilitation des bâtiments. Peut-être que c'est la solution la plus coûteuse, néanmoins elle aide dans la réduction ou l'élimination d'autres problèmes, tels que la condensation d'eau, la pénétration de

la pluie et le bruit extérieur.

- Isolation par injection, des murs creux, qui est la solution la plus courante dans les nouvelles constructions. Dans ce type d'intervention, il faut prêter une attention particulière aux points de rencontre avec les dalles et les blocs de pierre des persiennes, pour éviter la formation des ponts thermiques.
- Isolation par l'intérieur, qui consiste en la fixation de l'isolant thermique sur la face intérieure du mur. Elle est souvent utilisée dans la rénovation des bâtiments anciens, sur des murs de pierre ou dans la réhabilitation des monuments où l'on ne doit pas changer les conditions esthétiques de la paroi extérieure. L'inconvénient de cette méthode est qu'elle fait perdre de l'espace habitable à l'intérieur du bâtiment.

Isolation des murs creux (double cloison)

Zone climatique	Taux des baies vitrées TGBV	épaisseur XPS, mm	épaisseur EPS, mm	épaisseur PUR, mm	épaisseur MW, mm
Z1	0-15%	30	30	30	30
	16-25 %	30	30	30	30
	26-35%	30	30	30	30
	36-45%	30	30	30	30
Z2	0-15%	30	30	30	30
	16-25 %	30	30	30	30
	26-35%	30	40	30	40
	36-45%	40	40	40	50
Z3	0-15%	30	30	30	30
	16-25 %	30	30	30	30
	26-35%	30	40	30	40
	36-45%	40	40	40	50
Z4	0-15%	40	40	40	50
	16-25 %	40	40	40	50
	26-35%	40	40	40	50
	36-45%	50	50	40	50
Z5	0-15%	30	30	30	30
	16-25 %	30	40	30	40
	26-35%	40	40	40	50
	36-45%	50	50	40	50
Z6	0-15%	30	30	30	30
	16-25 %	30	40	30	40
	26-35%	40	40	40	50
	36-45%	50	50	40	50

Tableau 8.- Epaisseurs minimales en isolation des murs creux avec du polystyrène extrudé (XPS), polystyrène expansé (EPS), polyuréthane projeté (PUR) et laine minérale (MW)

N.B.: Les épaisseurs sont arrondies à celles qui existent sur le marché.

Murs creux isolés avec du XPS :

Il s'agit d'un système couramment utilisé dans la construction neuve pour tout type de climat. Il est composé par des façades à double cloison préconstruites (en céramique ou en béton), le mur extérieur porteur et le mur intérieur de protection, avec mise en place de l'isolant entre les deux.

Le système permet ainsi de réduire le transfert de chaleur et fournit des enclos avec des inerties thermiques, et avec des amortissements et déphasages modérés de l'onde thermique.

L'isolant est placé directement sur la face intérieure de la cloison extérieure. Les panneaux doivent être placés bien juxtaposés en couvrant toute la surface à isoler. Pour la fixation, l'on peut utiliser indistinctement des systèmes mécaniques (broches de fixation spéciales pour isolation -1 ou 2 par panneau-, lanières ou pates de fixation), ou des systèmes collés moyennant des produits appropriés (bitume, latex, ciment, colle).

Les plaques sont placées en formant un « continuum », grâce à la finition du bord langueté.



Figure 27.- Mise en place des plaques de XPS dans la double cloison.



Figure 28.- Mise en place de l'isolant dans la lame d'air de la double cloison. (Source: ADEREE)

Si l'isolant ne remplit pas tout l'espace entre les deux cloisons, le surplus de l'air doit rester dans le côté extérieur de l'enceinte. Pour y arriver, l'on doit disposer des éléments d'écartement, de manière à agir comme un élément d'espacement entre la cloison extérieure et l'isolant. La languette-rainure latérale des panneaux permet d'assurer la continuité de l'isolation.



Figure 29.- Système de fixation (Source : AIPEX, Association Ibérique du Polystyrène extrudé)

Une fois placées les plaques de XPS, l'on procède à soulever le parement intérieur du mur creux.

En cas de rénovation:

Cette application n'est pas appropriée en cas de rénovation.

Murs creux (double cloison) isolés avec de l'EPS :

Le processus de mis en place de l'isolation EPS sur des murs avec lame d'air, est similaire au cas précédent.

Premièrement, l'on fixe les plaques sur le mur extérieur.



Figure 30.- Placement des plaques de l'EPS.
(Source: ADEREE)



Figure 31.- Soulèvement de la paroi intérieure.
(Source: ADEREE)

Après, l'on soulève la paroi intérieure de la double cloison.

La paroi intérieure sera montée en laissant une lame d'air entre elle et l'isolant.



Figure 32.- Détail de mise en œuvre. (Source: ADEREE)

En cas de rénovation:

Cette application n'est pas appropriée en cas de rénovation.

Murs creux isolés avec du polyuréthane projeté

L'injection de la mousse de polyuréthane dans la lame d'air sera réalisée à travers des orifices ou trous, préalablement réalisés, espacés d'un 1 mètre au maximum les uns des autres, sans être situés sur la même ligne.

L'injection doit commencer par les orifices inférieurs, en remplissant la cavité de bas en haut lentement, de sorte que le remplissage de l'isolant doit saturer le volume de la cavité sans créer des tensions excessives dans les briques collatérales, pour éviter leur éventuelle fissuration. Plus la cavité est étroite, plus l'on augmente la précaution. En choisissant ce type de solution, il faut garder à l'esprit que le remplissage du volume de la cavité peut être affecté par la présence des corps étrangers (débris de construction) à l'intérieur de celle-ci.

L'injection de la mousse sera réalisée à travers des orifices faits dans l'une des parois du mur creux, toujours du bas en haut.

La mousse à injecter est de faible densité (20 kg/m^3) et à cellules ouvertes. Par conséquent, le facteur de résistance à la vapeur d'eau, μ , est proche de 1. Il est donc indispensable de faire les calculs nécessaires, étant donné que selon les conditions climatiques et la nature de la cloison principale, il peut exister un risque d'apparition des condensations interstitielles.

En cas de rénovation:

C'est une application particulièrement indiquée en cas de rénovation.

Murs creux isolés avec de la laine minérale (MW)

1. Monter la paroi intérieure du mur creux. Eliminer les restes de colle ou de ciment sur la face extérieure de la paroi, afin que l'isolant puisse y adhérer correctement et afin d'éviter les pertes de chaleur par convection dues à une lame d'air chaud.
2. L'isolant doit être posé de façon à ce que l'ensemble de la surface de façade, les détails et les raccords répondent aux exigences minimum en matière de valeur R et U. Poser les panneaux en demi-brique en les appuyant légèrement les uns contre les autres.
3. Fixer les panneaux jointivement contre la paroi intérieure au moyen de crochets d'ancrage avec rosace (min. 4 crochets par m^2).
4. Monter la paroi intérieure du mur creux en évitant que les restes de ciment ne soient en contact avec l'isolant. Dans le cas de murs avec un remplissage partiel, prévoir une lame d'air d'au moins 10 mm.

En cas de rénovation:

Ce n'est pas une technique couramment utilisée en cas de rénovation.

Isolation des murs par l'extérieur

L'utilisation de panneaux isolants pour l'isolation des murs augmente le confort thermique et réduit le risque des condensations. Les systèmes d'isolation par l'extérieur, connus comme ETICS (External Thermal Insulation Composite Systems) et façades ventilées, sont des solutions de construction particulièrement intéressantes en processus de réhabilitation énergétique. En effet, en intervenant par l'extérieur, cela ne produit pas d'interférence pour les usagers des bâtiments, ne réduit pas la surface utile et augmente la valeur esthétique et économique du bâtiment.

L'utilisation de plaques d'isolation fournit une enveloppe thermique en continu, en réduisant le coefficient de transmission thermique du mur et en corrigeant les ponts thermiques linéaires, comme les fronts de dalle, les contours des creux, les piliers, etc.

Il s'agit d'une installation délicate et exposée, bien qu'elle soit la solution la plus proche de l'idéal du contrôle hygrothermique du bâtiment. En effet, elle exploite au maximum l'inertie thermique du bâtiment et, en particulier, élimine presque complètement les ponts thermiques. En fait, les ponts thermiques se forment seulement dans la mesure où les fixations de l'isolation et des revêtements (en façade ventilée) les provoquent.

Étant donné que la mise en place de l'isolant se fait par l'extérieur, cela constitue la solution privilégiée pour les cas de réhabilitation thermique, puisque elle évite autant que possible d'interférer avec les usagers du bâtiment.

En plus, elle offre une protection maximale de l'enceinte face aux contraintes climatiques. En particulier en cas de la façade ventilée, où il se produit, d'une part, la dissipation de chaleur dans des conditions estivales de radiation solaire intense, et d'autre part, dans des conditions hivernales, l'évaporation de toute condensation.

Dans le cas de revêtement direct de l'isolation avec une monocouche de mortier ETICS (External Thermal Insulation Composite Systems), il est fortement recommandé que le système soit garanti par une entreprise qui se charge de vérifier la compatibilité de tous les produits et leur correcte installation, en conformité avec les approbations du type « Avis Technique » et selon les directives du Guide EOTA ETAG 004.

Zone climatique	Taux des baies vitrées TGBV	épaisseur XPS, mm	épaisseur EPS, mm	épaisseur PUR, mm	épaisseur MW, mm
Z1	0-15%	30	30	30	30
	16-25 %	30	30	30	30
	26-35%	30	30	30	30
	36-45%	30	30	30	30
Z2	0-15%	30	30	30	40
	16-25 %	30	30	30	40
	26-35%	40	40	30	40
	36-45%	50	50	40	50

Zone climatique	Taux des baies vitrées TGBV	épaisseur XPS, mm	épaisseur EPS, mm	épaisseur PUR, mm	épaisseur MW, mm
Z3	0-15%	30	30	30	40
	16-25 %	30	30	30	40
	26-35%	40	40	30	40
	36-45%	50	50	40	50
Z4	0-15%	50	50	40	50
	16-25 %	50	50	40	50
	26-35%	50	50	40	50
	36-45%	50	50	50	60
Z5	0-15%	30	30	30	40
	16-25 %	40	40	30	40
	26-35%	50	50	40	50
	36-45%	50	50	50	60
Z6	0-15%	30	30	30	40
	16-25 %	40	40	30	40
	26-35%	50	50	40	50
	36-45%	50	50	50	60

Tableau 9.- Epaisseurs minimales en isolation des murs par l'extérieur avec le polystyrène extrudé (XPS), polystyrène expansé (EPS), polyuréthane projeté (PUR) et la laine minérale (MW).

N.B.: Les épaisseurs sont arrondies à celles existantes sur le marché.

Murs isolés par l'extérieur avec XPS

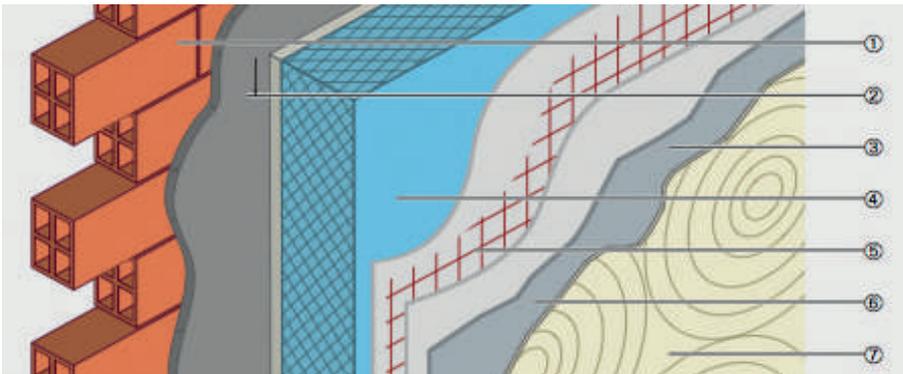


Figure 33.- Schéma de l'application: 1. Mur; 2. Nivellement; 3. Adhésif; 4. plaque de XPS sans "peau" dans les deux faces, densité 32 kg/m³ et résistance à la compression 250 kPa; 5. Armature de fibre de verre; 6. Enduit; 7. Monocouche. (Source: AIPEX).

Avant de commencer l'installation des panneaux, l'on doit placer les profils d'amorçage. Les panneaux doivent toujours être placés du bas vers le haut, à partir des sections inférieures, après avoir appliqué l'adhésif sur le côté long en position horizontale, les joints contrecollés et en plaçant au moins deux fixations par plaque, afin d'éviter leur séparation pendant le temps de séchage de l'adhésif.

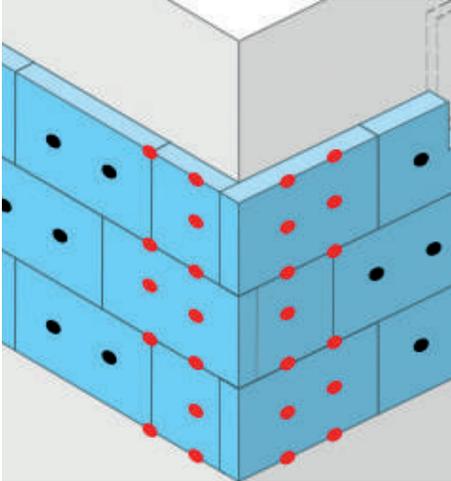


Figure 34.- Schéma de mise en place des plaques et des fixations (Source: AIPLEX)

L'armature de fibre de verre est fixée à la plaque avec le ciment d'apprêt appliqué en deux couches.

La finition avec la monocouche constitue la phase qui rend le système résistant aux intempéries, et d'apparence agréable. La couche de nivellement sur l'armature doit être complètement sèche, avant de commencer la mise en œuvre de la monocouche. Le temps de séchage peut durer plusieurs semaines.

Il est recommandé d'utiliser des monocouches de couleurs claires, avec un indice de réflexion supérieur à 20%.

En cas de rénovation:

Cette application est spécialement recommandée en cas de rénovation des façades. Le XPS est recommandé en particulier pour isoler les plinthes et les parties inférieures du bâtiment, y compris les murs enfouis dans le sol, compte tenu de ses caractéristiques d'absorption d'eau quasi nulle et de sa résistance mécanique.

Murs isolés par l'extérieur avec EPS

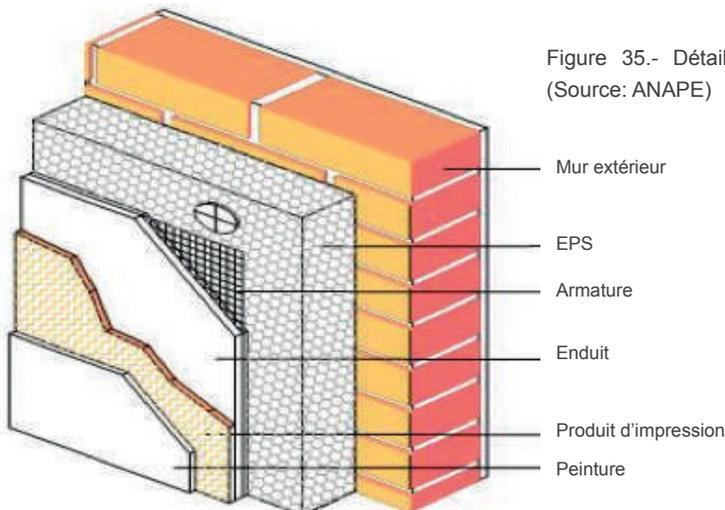


Figure 35.- Détail de l'application (Source: ANAPE)

Avant de commencer l'installation des panneaux de l'EPS de conductivité thermique $0,032 \text{ W/(m.K)}$, l'on doit conditionner la superficie du mur extérieur et placer les profils d'amorçage. Les panneaux doivent toujours être placés du bas vers le haut, à partir des sections inférieures, après avoir appliqué l'adhésif sur le côté long en position horizontale, les joints contrecollés et en plaçant au moins deux fixations par plaque, afin d'éviter leur séparation pendant le temps de durcissement de l'adhésif.

En cas de rénovation:

Cette application est spécialement recommandée en cas de rénovation des façades. Le polystyrène EPS est largement utilisé grâce à ses propriétés de grande stabilité dimensionnelle. Il est recommandé d'utiliser des systèmes dûment testés et en possession d'un Avis Technique, étant donné que l'application correcte est la clef du résultat attendu.

Murs isolés par l'extérieur avec du polyuréthane projeté (PUR)

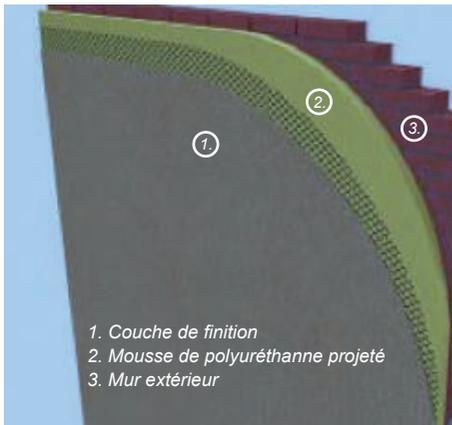


Figure 36.- Schéma de l'application (Source: Association Espagnole Technique du Polyuréthane Appliqué ATEPA)

En cas de construction neuve:

Dans cette application sur la surface du mur extérieur, qui doit être propre, sèche et au-dessus de 5°C , l'on pulvérise une mousse de polyuréthane de densité 45 kg/m^3 et de conductivité thermique $0,028 \text{ W/(m.K)}$. Tous les éléments autour de la zone de pulvérisation doivent être protégés.

Le PUR est appliqué en couches successives d'au plus 1,5 ou 2 cm jusqu'à obtenir l'épaisseur souhaitée.

Pour améliorer l'adhérence du revêtement extérieur à la mousse de polyuréthane, il est possible de gratter légèrement la surface de la mousse, appliquer une résine de base comme couche de fond, et utiliser un treillis métallique ancré à la mousse.

Il est judicieux d'engager des applicateurs certifiés, selon les normes en vigueur.

En cas de rénovation:

Cette application est spécialement recommandée en cas de rénovation des façades. Le PUR est largement utilisé grâce à ses propriétés. D'autre part, cette application évite la formations des ponts thermiques et ne réduit pas l'espace habitable du bâtiment.

Il est recommandé d'engager des applicateurs agréés, étant donné que l'application correcte est la clef du résultat attendu.

Murs isolés par l'extérieur avec de la laine minérale (MW)

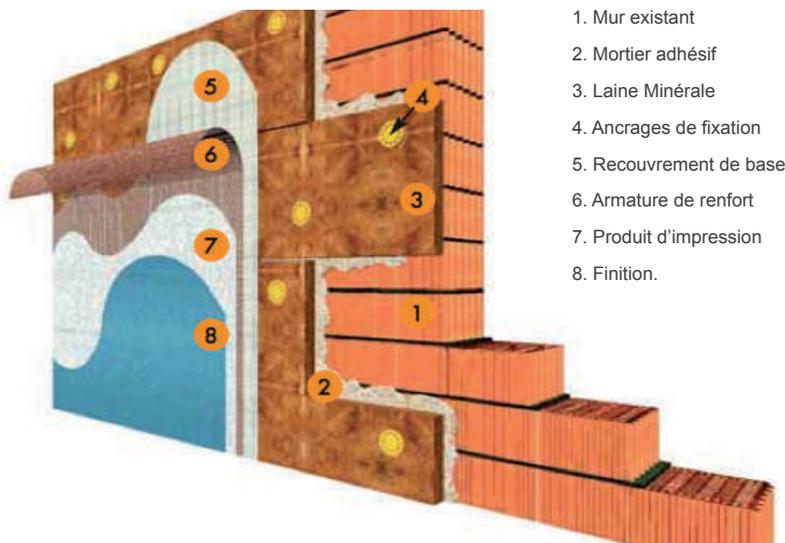


Figure 37.- Détail du mur isolé par l'extérieur avec MW. (Source: AFELMA, Association des Fabricants Espagnoles des Laines Minérales Isolantes)

1. Après la mise en place du profil d'amarçage, pour l'isolation du mur porteur, le mortier-colle est appliqué sur tout le périmètre du panneau de Laine Minérale, plus trois plots intérieurs, occupant 50% de la surface.
2. Les panneaux de laine minérale doivent être placés dans le sens ascendant (de bas en haut), avec des joints verticaux discontinus.
3. La fixation des panneaux de laine minérale est complétée moyennant des ancrages de fixation mécanique, de longueur minimale égale à l'épaisseur de l'isolant + 30 mm (ou selon les spécifications du fabricant de l'ancrage).
4. Une fois terminée la mise en place de la laine minérale, l'on procède au placement des bandes d'armature de renfort dans les coins, le périmètre des fenêtres et des points critiques des façades.
5. Enfin, procéder à l'application du revêtement de base, l'armature de renfort, le produit d'impression et la couche de finition.

En cas de rénovation:

Cette application est spécialement recommandée en cas de rénovation des façades. La Laine Minérale est largement utilisée, grâce à ses propriétés de grande stabilité dimensionnelle et comportement au feu (bâtiments de plus de 18 m). Il est recommandé d'utiliser des systèmes dûment testés et en possession d'un Avis Technique.

Isolation des murs par l'intérieur

C'est une intervention relativement simple et particulièrement adaptée pour la réhabilitation (bien que crée des perturbations aux usagers du bâtiment). Elle fournit une réponse thermique rapide, particulièrement adaptée pour un bâtiment

à usage intermittent (week-end), puisque le chauffage est directement utilisé pour l'environnement intérieur, étant donné l'inertie thermique minimale du revêtement de l'isolation. Toutefois, une telle inertie thermique faible, un avantage dans de tels cas, peut être un inconvénient pour un bâtiment à usage permanent, étant donné la grande stabilité thermique que fournit une inertie thermique élevée.

Quant aux conditions hygrométriques, les ponts thermiques possèdent une incidence extrême, puisque l'enceinte, en étant située à la face «froide» de l'isolation, présentera une superficie froide en toute rupture ou pont thermique que présente l'isolation (c'est tout le contraire de l'isolation par l'extérieur).

Zone climatique	Taux des baies vitrées TGBV	épaisseur XPS, mm	épaisseur EPS, mm	épaisseur PUR, mm	épaisseur MW, mm
Z1	0-15%	30	30	30	30
	16-25 %	30	30	30	30
	26-35%	30	30	30	30
	36-45%	30	30	30	30
Z2	0-15%	30	30	30	40
	16-25 %	30	30	30	40
	26-35%	40	40	30	40
	36-45%	50	50	40	50
Z3	0-15%	30	30	30	40
	16-25 %	30	30	30	40
	26-35%	40	40	30	40
	36-45%	50	50	40	50
Z4	0-15%	50	50	40	50
	16-25 %	50	50	40	50
	26-35%	50	50	40	50
	36-45%	50	50	50	60
Z5	0-15%	30	30	30	40
	16-25 %	40	40	30	40
	26-35%	50	50	40	50
	36-45%	50	50	50	60
Z6	0-15%	30	30	30	40
	16-25 %	40	40	30	40
	26-35%	50	50	40	50
	36-45%	50	50	50	60

Tableau 10.- Epaisseurs minimales en isolation des murs par l'intérieur, avec le polystyrène extrudé (XPS), polystyrène expansé (EPS), polyuréthane projeté (PUR) et la laine minérale (MW).

N.B.: Les épaisseurs sont arrondies à celles existantes sur le marché.

Murs isolés par l'intérieur avec XPS

La mise en œuvre, lors de l'application directe du plâtre sur l'isolant, fournira une surface appropriée pour une bonne adhérence sur le plâtre.

Dans tous les cas, la couche en plâtre sera renforcée avec des mailles, afin d'éviter les problèmes de fissuration, par exemple les coïncidences avec des joints entre les plaques. L'isolation fournira également une surface appropriée pour son adhésion avec le mur porteur, avec les ciments-colles habituels. Une autre possibilité, de plus en plus fréquente, est de laminer l'isolant et la plaque de plâtre.



Figure 38.- Isolation par l'intérieur avec du XPS et une plaque de plâtre (Source: AIPEX)

En cas de rénovation:

C'est une application particulièrement adaptée pour un projet de rénovation et même de réparation.

Murs isolés par l'intérieur avec EPS

La mise en place du polystyrène EPS de 15-20 kg/m³ de densité, est réalisée selon les étapes suivantes:

1. Nettoyer la base de la structure, pour assurer une bonne adhérence de la mousse.
2. Sur le support, les plaques sont collées avec du mortier-colle donné en plots (au moins 5) sur la surface intérieure de la plaque.



Figure 39.- Mise en place des plaques du polystyrène. (Source: ANAPE)



Figure 40.- Paroi totalement isolée par l'intérieur. (Source: ANAPE)

3. Sur la surface de la plaque, on prépare les emplacements des tuyaux pour les installations (électricité).
4. Sur le mur déjà revêtu de panneaux, l'on place par collage les plaques de plâtre laminé.



Figure 41.- Réalisation des emplacements pour encastrer les câbles électriques. (Source: ANAPE)



Figure 42.- Peltées pour l'adhésion des plaques de plâtre laminé. (Source: ANAPE)



Figure 43.- Fixation de la plaque de plâtre et vérification de niveau. (Source: ANAPE)

En cas de rénovation:

C'est une application particulièrement adaptée en cas de rénovation.

Murs isolés par l'intérieur avec du polyuréthane projeté (PUR)

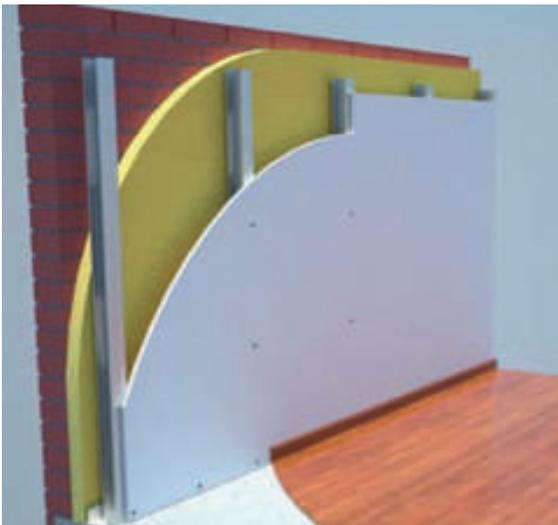


Figure 44.- Schéma de l'application (Source: ATEPA, Association Technique du Polyuréthane Appliqué)

L'isolation par l'intérieur avec du polyuréthane PUR fournit une façade, composée du mur principal extérieur, de polyuréthane projeté et un revêtement intérieur de cloison sèche.



Figure 45.- Application de la mousse de PUR par l'intérieur. (Source: ATEPA)

- Nettoyer la base du mur, pour assurer une bonne adhérence de la mousse.
- La superficie sur laquelle la mousse sera projetée, doit être sèche et au-dessus de 5°C.
- Protéger tous les éléments susceptibles d'être tachés. Il est recommandé de boucher les trous de la façade.
- Appliquer le PUR de densité 35 kg/m³ et de conductivité thermique 0,028 W/m.K en couches successives d'au plus de 1,5 ou 2 cm, jusqu'à obtenir l'épaisseur souhaitée.
- Sur la mousse, une plaque de plâtre est installée avec un système de listons.

En cas de rénovation:

C'est une application particulièrement adaptée pour un projet de rénovation.

Murs isolés par l'intérieur avec de la laine minérale (MW)

Le processus d'isoler les murs avec de la laine minérale est très simple. Le procédé suit les étapes suivantes:

1. Le support doit être sec, plan, propre et exempt de peinture. Mesurer la hauteur entre le sol et le plafond et découper la plaque à hauteur du plafond moins 15 mm.
2. Coller les plaques au moyen de mortier-colle. Appliquer, tous les 30 cm, des bandes de colle d'environ 10 cm et 8 plots de colle par m² (enduire suffisamment).
3. Poser la plaque enduite de colle sur des cales d'environ 10 mm contre le mur. Frapper à plat sur toute la surface, côté plaque de plâtre, à l'aide d'une grande règle. Maintenir la plaque sur les cales pendant le temps de prise de la colle.
4. Après le séchage, retirer les cales et obturer la partie inférieure. Recouvrir les joints entre les plaques de bandes de renfort. Utiliser des cornières métalliques ou plastiques pour les angles extérieurs. Les plaques sont prêtes à recevoir la finition.

En cas de rénovation:

C'est une application particulièrement adaptée pour la réhabilitation et même la réparation des murs.

5.3.4. Isolation des planchers

Le but principal de l'isolation thermique pour cette application est de maintenir la température de la surface du sol aussi près que possible à celle de l'air, afin d'éviter les pertes de chaleur et d'assurer le confort ambiant et prévenir l'apparition des condensations.

L'isolation des planchers, permet, entre autres avantages, d'économiser l'énergie en climatisation. En effet, il est estimé que 15 à 20% des pertes de chaleur dans le bâtiment se produisent à travers le plancher. L'isolation des sols permet également de réduire le risque des condensations interstitielles et superficielles, de contribuer à maintenir une température constante à l'intérieur du bâtiment, en améliorant le confort, ainsi que de supporter des charges statiques élevées pendant de longues périodes, sans aucune modification.

Les situations les plus typiques sont:

- Chapes et dalles de béton armé en contact avec le sol;
- Planchers avec isolation inférieure;
- Planchers avec isolation intermédiaire (sols radiants).

Zone climatique	épaisseur XPS, mm	épaisseur EPS, mm	épaisseur PUR, mm	épaisseur MW, mm
Z1	NE	NE	NE	NE
Z2	NE	NE	NE	NE
Z3	20	20	20	20
Z4	30	30	30	40
Z5	20	30	20	30
Z6	20	30	20	30

Tableau 11.- Epaisseurs minimales en isolation des sols avec le polystyrène extrudé (XPS), polystyrène expansé (EPS), polyuréthane projeté (PUR) et la laine minérale (MW).

N.B.: Les épaisseurs sont arrondies à celles existantes sur le marché.

Planchers isolés avec XPS

- Placer les panneaux d'isolation de XPS, de résistance à la compression minimale de 200 kPa, sur le plancher préalablement nivelé, en prenant soin de la correcte juxtaposition les uns aux autres, dans le cas de la pose des panneaux avec une finition latérale, et en évitant les ponts thermique dans tous les cas.
- Le pavement est mis en place de la forme classique avec son mortier de fixation (épaisseur minimale de 4 cm) sur la couche isolante. Les planchers qui supporteront des surcharges doivent être renforcés avec une base en ciment.

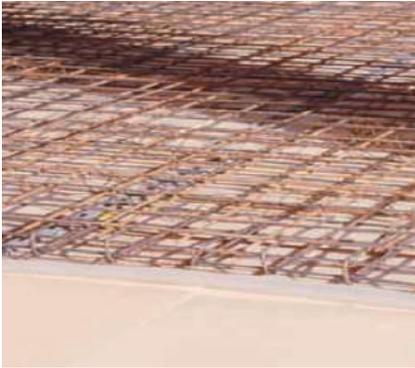


Figure 46.- Plancher isolé avec XPS en attente du béton

En cas de rénovation:

C'est une application spécialement adaptée en cas de rénovation. En effet, il est possible de la mettre en œuvre, même sur le pavement existant, une fois traité avec une couche de nivellement.

Planchers isolés avec EPS:

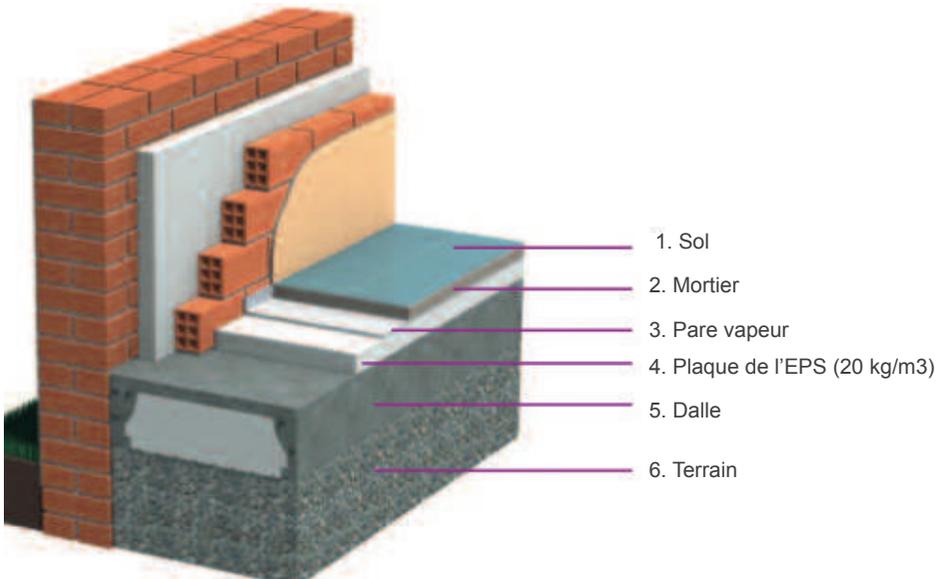


Figure 47.- Schéma de l'isolation des sols avec EPS (Source: ANAPE).

Placez les panneaux isolants EPS de densité 20 kg/m³, sur le plancher préalablement nivelé.



Figure 48.- Panneaux isolants EPS

Le pavement est mis en place de la forme classique avec son mortier de fixation (épaisseur minimale de 4 cm) sur la couche isolante.

En cas de rénovation:

C'est une application spécialement adaptée en cas de rénovation. En effet, il est possible de la mettre en œuvre, même sur le pavement existant, une fois traité avec une couche de nivellement.

Planchers isolés avec du polyuréthane projeté (PUR):

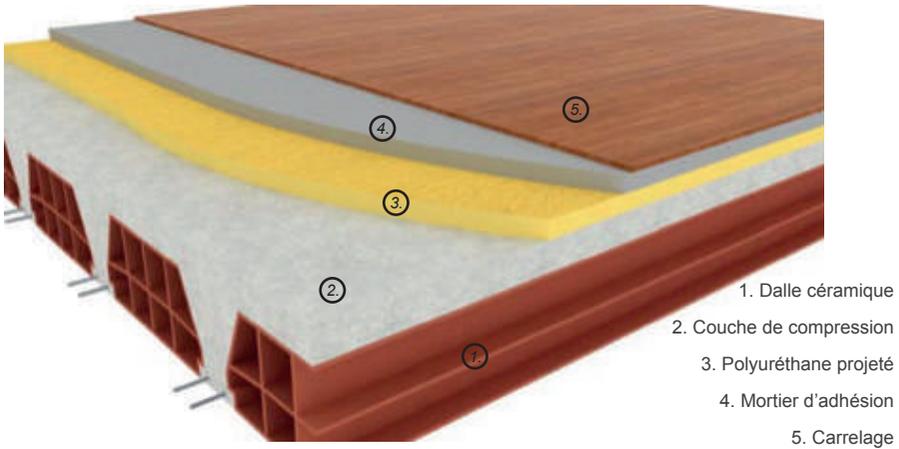


Figure 49.- Schéma de l'application (Source: ATEPA)

- Nettoyer la base de la dalle du plancher, pour assurer une bonne adhérence de la mousse.
- La superficie sur laquelle le polyuréthane sera projeté, doit être sèche et au-dessus de 5°C.
- Protéger tous les éléments susceptibles d'être tachés.
- Appliquer le PUR de densité 45 kg/m³ et de conductivité thermique 0,028 W/m.K en couches successives d'au plus de 1,5 ou 2 cm, jusqu'à obtenir l'épaisseur souhaitée.
- Sur la mousse, on peut mettre en place le revêtement avec une couche de mortier de fixation intermédiaire.



Figure 50.- Les conduits et les installations sont recouverts par la mousse (Source: ATEPA)



Figure 51.- Isolation du plancher avec du polyuréthane projeté (PUR). (source: ADEREE)

En cas de rénovation:

C'est une application spécialement adaptée en cas de rénovation. En effet, il est possible de la mettre en œuvre, même sur le pavement existant, une fois traité avec une couche de nivellement.

Planchers isolés avec la laine minérale (MW)

Le processus d'isolation des sols avec de la laine minérale est très simple. Il est effectué selon les étapes suivantes:

1. Nettoyer le support de tout résidu qui pourrait endommager le panneau et éliminer les irrégularités supérieures à 5 mm. Le support ne peut pas être humide. Poser les bandes périphériques de laine du verre verticalement contre le mur, afin d'éviter la transmission latérale du bruit.
2. Poser les panneaux jointivement au sol et contre les bandes périphériques. Recouvrir toute la surface.
3. Recouvrir l'ensemble d'un film PE épais pour éviter les ponts acoustiques. Faire chevaucher les bandes de 15 cm ou appliquer une bande autocollante. Si le sol doit rester accessible, poser des planches sur les zones de passage. Poser un treillis sur toute la chape.
4. Poser la chape flottante en respectant les instructions du fabricant. Laisser sécher complètement avant de procéder à la finition.

En cas de rénovation:

C'est une application spécialement adaptée en cas de rénovation. En effet, il est

possible de la mettre en œuvre, même sur le pavement existant, une fois traité avec une couche de nivellement.

5.3.5. Isolation des parois vitrées

Aussi bien dans les nouvelles constructions que dans la rénovation, le traitement donné aux fenêtres et parois vitrées, en général, est d'une importance capitale du point de vue efficacité énergétique du bâtiment. En effet, les pertes de chaleurs à travers de celles-ci constituent environ 20% du total dans ledit bâtiment.

Dans tous les bâtiments existants ayant des fenêtres ou baies vitrées, la rénovation des vitrages et des cadres des fenêtres, est une des actions les plus pertinentes pour améliorer l'efficacité énergétique du bâtiment en augmentant en plus le confort thermique de celui-ci.

La plupart des bâtiments historiques ne disposent pas d'isolation thermique adéquate. L'intervention la plus simple qui peut être effectuée dans la façade du bâtiment est de remplacer les fenêtres.

Dans tous les bâtiments qui ont des fenêtres à simple vitrage, les prestations thermiques sont très limitées. Le remplacement du vitrage simple par un vitrage isolant (double vitrage) permet des économies d'énergie importantes, été comme hiver.

Le cadre représente habituellement 25 à 35% de la surface des parois vitrées.

Ses principales propriétés, du point de vue de l'isolation thermique, sont le coefficient de transmission thermique et le coefficient d'absorption. Ces deux propriétés vont participer, en fonction de la fraction de la surface occupée par le cadre, dans la transmission totale des parois vitrées et le facteur solaire équivalent FS* de celui-ci. (voir définition en annexe 9.1).

Les cadres peuvent être classés selon différents critères. Une classification peut être effectuée selon le matériau des cadres et dont dépendent certaines caractéristiques, telles que les propriétés thermiques. Ainsi, nous énumérons:

- **Cadre en métal: généralement en aluminium ou en acier**, avec différentes finitions. Sa proportion dans la superficie de la paroi vitrée est aux alentours de 25%.
- **Cadre en métal à Rupture de Pont Thermique (RPT)**: la rupture de pont thermique consiste en l'incorporation d'un ou plusieurs séparateurs à faible conductivité thermique, qui séparent les composants intérieurs des composants extérieurs de la menuiserie, permettant de réduire les pertes et d'améliorer le comportement thermique de la menuiserie.
- **Cadre en bois**: cadre en bois massif qui, par sa nature alvéole, fournit des niveaux élevés d'isolation thermique.
- **Cadre en PVC**: les cadres sont formés par des châssis creux en PVC, offrant un comportement thermique du premier ordre.

Le tableau suivant montre la transmission thermique des différents types de châssis:

Matériau du profilé	Coefficient de transmission thermique U (W/m ² .K)
Métallique	5,7
Métallique RPT	4
Métallique RPT d> 12 mm	3,2
Bois dur (700 kg/m ³)	2,2
Bois tendre (500 kg/m ³)	2
Châssis creux en PVC (2 lames d'air)	2,2
Châssis creux en PVC (2 lames d'air)	1,8

Tableau 12.- Coefficient de transmission thermique des différents types de châssis, selon NM ISO 10077-1

Le verre, élément fondamental dans l'enveloppe, peuvent être classé en différents groupes en fonction de sa configuration et de la présence de couches métalliques qui améliorent ses performances en isolation thermique et protection solaire.

Simple vitrage (monolithique): sous cette dénomination, nous regroupons les typologies formées à partir d'un panneau de verre et celles formées de deux ou plusieurs panneaux de verre, scellés entre eux tout le long de la surface (verres stratifiés).

Double vitrage ou Unité de Vitrage Isolant (UVI): Connue antérieurement comme double vitrage, fait référence à l'ensemble formé par deux ou plusieurs panneaux de verres monolithiques séparés entre par une épaisseur d'air immobile et sec, appelée « lame d'air », hermétiquement scellés tout le long du périmètre. Grâce à la faible conductivité thermique de l'air, l'échange de chaleur, par convection et conduction, est limité.

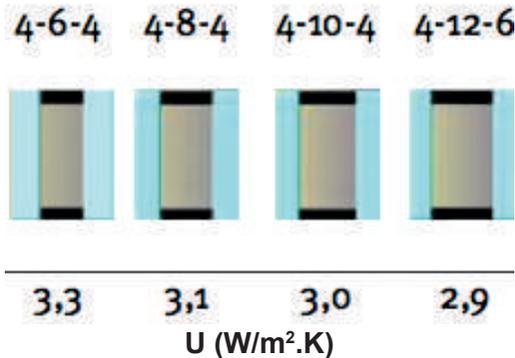


Figure 52.- Epaisseurs de "verre-lame d'air-verre".

Verre à faible émissivité: il s'agit de verre monolithique sur lequel est déposée une couche d'oxydes métalliques extrêmement fine, de l'ordre de quelques nanomètres, fournissant au verre une meilleure capacité d'isolation thermique. Normalement, ces

verres devraient être assemblés sous rayons UVA (double vitrage).

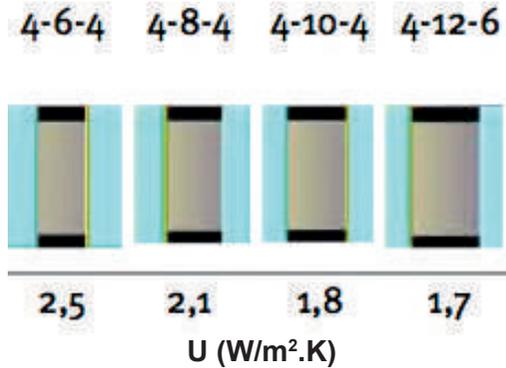


Figure 53.- Epaisseurs de "verre-lame d'air-verre".

Vitrages de protection solaire: peuvent être regroupés sous cette dénomination, des vitrages de nature très distincte: en couleur, sérigraphiés ou en film. Bien que, c'est ce dernier que nous appelons habituellement vitrage de protection solaire. Les différents films solaires et la possibilité de les appliquer sur différents substrats de verre, permettent un large éventail de possibilités esthétiques et dont les performances thermiques de protection solaire, peuvent varier de 0,10 (pour les plus réfléchissants) à 0,60 (pour les verres incolores d'aspect neutre).

Les prestations thermiques de la paroi vitrée seront limitées, aussi bien pour les matériaux utilisés que pour leur état de conservation. La transmission thermique de la paroi vitrée est directement proportionnelle aux propriétés des matériaux et à la proportion des cadres et des verres dans toute la surface de ladite paroi.

La grande proportion du vitrage dans la fenêtre, fait que les gains réalisés dans la transmission thermique du vitrage, aient plus d'impact que ceux obtenus par les mêmes gains sur la transmission thermique du cadre. Le tableau suivant présente les valeurs de coefficient de transmission thermique global, calculées pour 30% de la surface occupée par le cadre et 70% de surface vitrée:

Verre 70%	U	Métallique U= 5,7	Métallique RPT U= 4	Bois U=2,5	PVC U=1,8
monolithique 4 mm	5,7	5,7	5,2	4,7	4,5
4-6-4	3,3	4	3,5	3,0	2,8
4-12-4	2,9	3,7	3,2	2,7	2,5
4-6-4, faible émission	2,5	3,5	3,0	2,5	2,3
4-12-4, faible émission	1,7	2,9	2,4	1,9	1,7

Tableau 13.- Coefficient de transmission thermique de la paroi vitrée (W/m².K)

Les exigences du Règlement Thermique de Construction au Maroc RTCM, en matière des baies vitrées, oscillent entre 1,90 et 5,80 W/m². K, en fonction des zones climatiques et du Taux Global des Baies Vitrées (TGBV). Dans chaque cas, la comparaison des valeurs du Règlement RTCM avec celles du tableau précédent, permet de déterminer le type ou les types de fenêtres qui peuvent être utilisés pour être en conformité avec la réglementation.

Pour la mise en œuvre, des outils appropriés doivent être employés qui permettront de maintenir les caractéristiques de la fenêtre. Nous distinguons deux façons de mise en place des fenêtres:

1- Fenêtre avec pré-cadre

Le pré-cadre est un élément qui permet d'installer la fenêtre dans une phase avancée de la construction, en évitant ainsi des risques comme les rayures, le mauvais fonctionnement par l'accumulation de résidus de l'œuvre, etc.

En fonction du matériau dont il est fait, le pré-cadre devra être conforme aux exigences suivantes:

- Il doit exister une compatibilité chimique entre le pré-cadre et la menuiserie.
- Le pré-cadre doit être placé sur la ligne de la paroi intérieure du mur.
- Le pré-cadre peut être placé dans le creux de la paroi directement avec du ciment ou du plâtre.
- Le pré-cadre sera muni de griffes pour sa fixation (au moins deux griffes par longueur), qui doivent être bien ouverts avant leur mise en place.
- La liaison entre le creux et le pré-cadre, doit être parfaitement étanche pour éviter les entrées d'eau, et de maintenir ainsi l'étanchéité.

Une fois vérifié que le pré-cadre est correctement installé, on peut procéder à la mise en place de la fenêtre.

- La fenêtre doit être placée sur la ligne de la paroi intérieure du mur.
- Ne pas retirer les feuilles de vitre.
- Caler le creux pour niveler le cadre de la fenêtre.
- Les couvre-joints doivent être complètement fixés au mur. S'il reste un « jeux », il doit être scellé postérieurement.
- Visser la fenêtre au cadre par des vis, qui varieront en fonction de l'épaisseur du cadre.
- Les vis doivent être foncées dans le mur d'au moins 2,5 mm.

Une fois vissée la fenêtre, on procède au scellement des joints. Les scellements doivent être effectués suivant ces petits conseils:

- L'épaisseur minimale des scellés devrait être de 6 mm, pour assurer un scellement correct des joints.
- Il est essentiel que le scellement soit lissé, avant qu'il ne commence à sécher, en utilisant un chiffon ou un autre élément qui n'abîme pas les châssis.

- La fixation du cadre à la paroi extérieure doit être scellée avec de la silicone neutre pour assurer l'étanchéité.
- Vérifier postérieurement le scellement, pour s'assurer de l'absence d'un éventuel défaut.



Figure 54.- Scellant correct (Source ASEFAVE, Association de fabricants de vitres)



Figure 55.- Scellant incorrect (Source : ASEFAVE)



2. Fenêtres sans pré-cadre

- La fenêtre sera munie de griffes pour sa fixation (au moins deux griffes par longueur), qui doivent être bien ouverts avant leur mise en place.
- Vérifier que le creux est propre, en éliminant les restes de gypse ou d'autres matériaux.
- Vérifier le nivellement et que les mesures, comme dans le cas de pré-cadre, soient les mêmes sur toute sa longueur.
- Ne pas retirer les feuilles pour placer les fenêtres, sauf dans les cas où la taille de la fenêtre fasse en sorte que ces feuilles doivent être retirées (afin de réduire le poids et d'améliorer la maniabilité). Dans ces cas, lorsqu'on les place de nouveau, veiller à ce que se soit dans la position adéquate et que les ferrages fonctionnent correctement.



Figure 56.- Protection Solaire



Figure 57.- Protection Solaire et châssis en PVC

En cas de Rénovation

Compte tenu des caractéristiques de construction, la facilité d'intervention et l'impact qu'elle a sur l'isolation thermique de l'enveloppe du bâtiment, la paroi vitrée est considérée comme le premier élément à évaluer techniquement et économiquement, en cas de réhabilitation thermique du bâtiment.

L'intervention sur les parois vitrées, intégrant des matériaux de meilleures performances thermiques et correctement installés, est l'une des meilleures options à choisir, pour sa rapidité, son coût rentable, et surtout qu'elle n'affecte pas l'usage habituel du bâtiment. Chaque cas doit être étudié avec soin. C'est pour cette raison, qu'il n'existe pas de règles générales à suivre pour la rénovation des baies vitrées.

6. ALTERNATIVES EN « NOUVEAUX » PROCÉDÉS ET MATÉRIAUX D'ISOLATION

6.1. INNOVATION DANS LES MATÉRIAUX D'ISOLATION

De manière générale, les exigences élevées d'économie d'énergie et la nécessité de limiter nos émissions de CO₂ dans l'atmosphère, ont généré d'énormes projets de Recherche & Développement, dans le domaine des matériaux destinés à l'isolation thermique.

Ci-après, quelques indications sont mentionnées, sur les produits qui commencent à apparaître en tant que réponse à la demande d'une société de plus en plus en plus en faveur du Développement Durable.

6.1.1. Polystyrène expansé modifié

Il est composé de petites billes noires de polystyrène expansé (EPS), contenant des particules de graphite ainsi qu'un agent d'expansion.

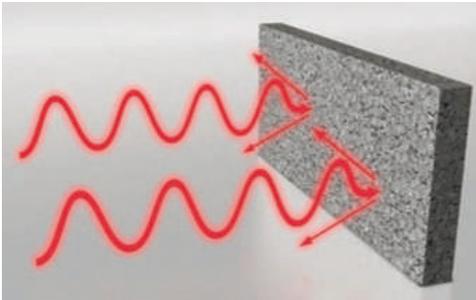


Figure 58.- Plaque de polystyrène EPS modifié (Source: ANAPE)

Les absorbeurs infrarouges IR et les réflecteurs empêchent, en grande partie, la perte de chaleur par rayonnement, réduisant ainsi la conductivité thermique du produit de 20% jusqu'à atteindre 0,030W/m.K.

6.1.2. Polystyrène extrudé modifié

L'ajout de quelques absorbeurs infrarouges, les modifications dans la matrice de polymère et l'apparition de nouveaux nano-additifs nucléants, combinés avec des gaz d'expansion de nouvelle génération, rapprochent les valeurs de conductivité thermique de la nouvelle génération des plaques de XPS, à des valeurs de 0,025 à 0,028 W/m.K.

6.1.3. Mousse de polyisocyanurate (PIR)

Dans le secteur du polyuréthane, les plaques en polyuréthane (PUR) évoluent en panneaux en mousse de polyisocyanurate (PIR), qui possèdent de meilleures caractéristiques de comportement au feu et à l'absorption d'eau.

Les mousses de polyisocyanurate (PIR) revêtues sur leurs faces extérieures par

des complexes sandwichs de très faible perméabilité, possèdent des conductivités thermiques à long terme de 0,022 à 0,024 W/m.K.



Figure 59.- Plaque de polyisocyanurate PIR ALU-T, de conductivité thermique 0,0215 W/m.K. (Source: IPUR)

6.1.4. Panneau en mousse phénolique

Les mousses phénoliques ont des cellules fermées. Elles présentent d'excellentes propriétés de résistance au feu et des conductivités thermiques de 0,018 à 0,023 W/mK, une densité autour de 35kg/m³ et une résistance à la compression de 100 kPa.

Leurs applications dans le bâtiment coïncident avec les plaques classiques de polyuréthane ou de polyisocyanurate.

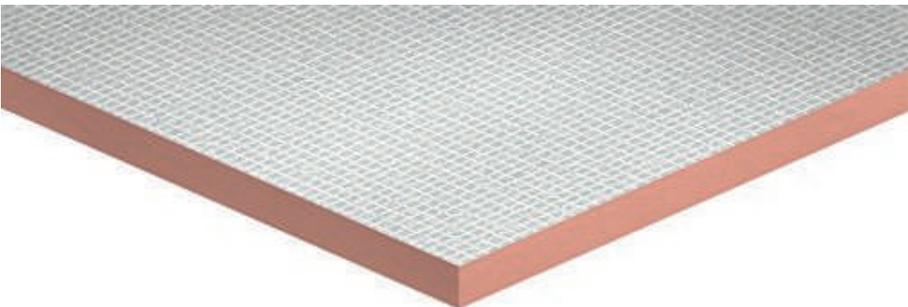


Figure 60.- Panneau en mousse phénolique pour isolation de plafonds (Source: EPFA, European Phenolic Foam Association)

6.1.5. Panneaux en laine de roche avec aérogel

L'aérogel ou la fumée glacée est une substance colloïdale similaire au gel, dans lequel le composant liquide est remplacé par un gaz, en obtenant comme résultat un solide de très faible densité (3 kg/m³) et très poreux, avec certaines propriétés très surprenantes, comme son énorme capacité d'isolation thermique. Récemment, l'aérogel de graphène est en fort développement et qui présente une densité de 0,16 kg/m³.

Sur le marché, il existe des produits de laine de roche en aérogel avec une plaque de

plâtre munie d'un pare-vapeur intégré sur un côté, dont la conductivité thermique est de 0,019 W/m.K et les épaisseurs de 20 à 50 mm.

6.1.6. Panneaux rigides isolants sous vide (VIP)

Il s'agit des plaques rigides, avec un noyau microporeux dont l'intérieur est fait sous vide, qui sont encapsulées et scellées dans une enveloppe très mince et imperméable aux gaz.

Leur conductivité thermique est de 0,007 W/m.K et sont présentés en formats avec des largeurs allant de 300 à 600 mm, des longueurs de 300 à 1200 mm et des épaisseurs allant de 20 à 60 mm.

Avec leur faible conductivité thermique, ils peuvent être appliqués sur les murs, les toits et les planchers avec une épaisseur minimale.

6.2 RECHERCHE DANS LES MATÉRIAUX LOCAUX A GRAND POTENTIEL D'ISOLATION THERMIQUE

6.2.1. Liège aggloméré

Au Maroc, il existe déjà certains fabricants de matériaux d'isolation thermique, tels que le polystyrène expansé (EPS) et certains fabricants potentiels de systèmes pour le polyuréthane projeté. Toutefois, un matériau naturel est produit localement tel que le liège (ICB), doit être pris en considération.

Le liège (ICB) est un matériau présent dans l'écorce de certains arbres, notamment dans le chêne-liège.



C'est un produit à faible densité (80 à 140 kg/m³), antistatique, avec un comportement au feu acceptable, une bonne isolation thermique, acoustique, anti-vibrations et relativement résistant à l'eau grâce à la subérine qui imprègne ses cellules.

Sa conductivité thermique λ peut varier entre 0,040 et 0,048 W/m^{°K}.

Lorsqu'il est transformé en granulés, expansé et aggloméré à la vapeur, il peut être agglutiné sous forme de plaques.



Figure 61.- Plaques de liège aggloméré et expansé (ICB)

Le liège présente plusieurs avantages. En effet, il s'agit d'un matériau renouvelable, naturel et recyclable, avec une bonne inertie thermique et une résistance mécanique. Toutefois, parmi ses inconvénients, le prix est relativement élevé, la difficulté de le mettre en œuvre lorsqu'on veut éviter les ponts thermiques (par exemple, dans l'isolation des combles entre les poutres du toit), ainsi que la disponibilité en raison de la longue période entre récolte et récolte (9 ans).

Le liège peut être utilisé dans l'isolation de la toiture, les murs et les planchers. Avec des granulés en vrac non expansés, on prépare le mortier de ciment, qui présente souvent une conductivité thermique d'environ 0,10 W/m.K.

6.2.2. Laine de mouton

Il s'agit d'une fibre dense, bouclée et souple qui recouvre la peau des moutons. Son extraction par cisaillement est effectuée une fois par an, entre les mois de Mai et Juin. L'utilisation de la laine de mouton en tant que matériau d'isolation, implique un traitement spécial de nettoyage et de conservation. Dans son état naturel, elle présente l'inconvénient d'être attaquée par les papillons de nuit, mais cela est évité par traitement avec du tétra borate de sodium. Pour que la laine de mouton soit bien liée mécaniquement, on utilise jusqu'à 40% de fibres de polyester, pour former des rouleaux d'isolation.



Figure 62.- Laine de mouton

Avec une conductivité thermique de $\lambda = 0,04\text{W/m}^\circ\text{K}$, ce produit convient pour l'isolation de greniers, plafonds suspendus, murs de séparation et constructions en ossature bois.

La laine de mouton absorbe l'humidité en excès dans une atmosphère et la rejette, lorsque cette dernière est sèche. Il est difficile de trouver un isolant qui régule autant l'humidité : la laine de mouton peut absorber 33% de son poids en eau et la restituer, en se séchant, sans perdre sa capacité thermique.

6.2.3. Fibres de chanvre

Les fibres de chanvres constituent un excellent isolant thermique et acoustique, outre un régulateur d'humidité. Sa conductivité thermique varie de 0.039 à 0.045W/mK.

Sa matière première peut être du cannabis ou du lin. En 2005, 115.000 hectares ont été cultivés à l'échelle mondiale. La Chine et la Russie sont les plus grands producteurs, suivies par le Canada et la France. Du point de vue écologique, sa culture est très bénéfique pour l'agriculture et pour l'environnement et ne nécessite pas de pesticides ou d'herbicides, puisqu'il s'agit d'une plante réfractaire aux parasites. En outre, c'est une plante à croissance rapide.



Figure 63.- Plaque en fibres de chanvre.

Dans la fabrication de cet isolant, après défilage mécanique, les fibres sont conditionnées sous forme de nappes, auxquelles est ajouté un liant à base de fibres de polyester (entre 10 et 25 %), de coton et de jute, pour produire un matériau isolant léger.

Il est commercialisé sous forme de matelas flexibles, qui s'ajustent aux surfaces. Il peut être utilisé dans l'isolation des murs, en toitures non ventilées, toitures plates, murs cloisons, planchers flottants.

Comme tous les isolants d'origine végétale, la laine de chanvre est sensible au feu. Certains isolants en laine de chanvre peuvent donc recevoir un traitement additionnel ignifuge.

6.3. ENVELOPPE DU BÂTIMENT

L'industrie de la construction est très conservatrice et modifie très lentement sa technologie, en cherchant toujours la sécurité de nos bâtiments. Toutefois, les techniques de construction ainsi que des matériaux évoluent pour répondre à la demande des économies d'énergie et à la réduction des émissions dans l'atmosphère. Ci-après, quelques exemples de ces développements sont présentés, qui commencent à se consolider sur le marché mondial.

6.3.1. L'isolation des parois opaques

En ce qui concerne les nouvelles techniques d'isolation des murs, il est à souligner le fort développement de tous les systèmes d'isolation par l'extérieur, en raison de l'évolution du marché du secteur de la rénovation. A titre d'innovation aussi bien de point de vue esthétique que technologique, l'isolation thermique par l'extérieur sous forme de façade ventilée en céramique, peut être considérée.

La façade ventilée est un bardage multicouche composé d'un pan extérieur fait de différents matériaux, fixé mécaniquement sur un pan intérieur (mur neuf ou existant en briques, blocs de béton, etc..) au moyen d'une sous-ossature en bois, aluminium ou acier, et d'une lame d'air de largeur variable (minimum 2 cm), à l'intérieur de laquelle l'isolant thermique est habituellement posé sur le pan intérieur.

Les fonctions de la lame d'air sont les suivantes :

- Pose de l'isolant par l'extérieur de tout le mur existant, élimination des ponts thermiques.
- Effet cheminée: réduit la condensation, augmente l'étanchéité à l'eau de pluie et au vent, maintient l'isolation et le pan intérieur secs.

La ventilation est assurée par des ouvertures supérieures et inférieures et/ou par le biais de la conception de joints ouverts sur toute l'enveloppe.

6.3.2. L'isolation des toitures et terrasses

Systèmes de dalles isolantes

Aussi bien dans la construction neuve que dans la rénovation, le système de toiture inversée à base de dalle isolante, commence à être une référence de qualité et d'amélioration du comportement thermique de la toiture.

La dalle isolante est constituée d'une couche de béton poreux, qui agit comme protection mécanique sur une base isolante de polystyrène extrudé, donnant lieu à une surface accessible résistante et isolée thermiquement.

Les avantages:

- Isolation thermique et dallage en une seule pièce
- Compatible avec n'importe quel système d'étanchéité.
- Haute résistance mécanique qui permet:
 - Support des équipements de climatisation et des installations.
 - Construction des bancs.
- Allège sensiblement le poids de la toiture en comparaison à d'autres protections lourdes.
- Rend la toiture accessible.
 - Couloirs en gravier au niveau des toitures auto-protégées (support en béton, deck) et végétalisées.
 - Accès facile aux installations.

- Création d'espace utile où on peut réaliser les éventuelles maintenances.
- Modification des utilisations de la toiture (non accessible à accessible).
 - Transformation des toitures en gravier.
 - Réhabilitation des toitures auto-protégées.



Figure 64.- Carrelage isolant (Source : AIPEX)

Il s'agit des systèmes basés sur des pièces (« entrevous » ou hourdis) en EPS, qui allègent la structure porteuse du bâtiment, en améliorant, simultanément, l'isolation thermique de la construction.



Figure 65.- Pièce en EPS (Source ANAPE)

6.3.3. L'isolation des parois vitrées

Le verre à couche de contrôle solaire et à faible émissivité est la meilleure solution pour équiper les fenêtres des façades orientées sud ou ouest. Il permet de réduire les surchauffes, en été et en intersaisons, lorsque les vitrages sont exposés au soleil. Il donne au double vitrage la meilleure performance d'isolation thermique possible et conserve un bon apport de lumière naturelle.

Il est composé d'un verre clair revêtu d'une fine couche transparente de métaux nobles déposés par pulvérisation cathodique.

La couche réfléchit les infrarouges du rayonnement solaire vers l'extérieur et limite ainsi les entrées de chaleur solaire tout en gardant un bon niveau de luminosité. Elle réfléchit les infrarouges thermiques vers l'intérieur et limite ainsi les déperditions de chaleur par rayonnement.

6.4. ASPECTS BIOCLIMATIQUES

La conception bioclimatique a pour objectif principal d'obtenir des conditions de vie et de confort d'ambiance, adéquats et agréables (températures, taux d'humidité, insalubrité, luminosité, etc.) de manière la plus naturelle possible, en utilisant avant tout des moyens architecturaux, les énergies renouvelables disponibles sur le site (énergie solaire, géothermique, éolienne, et plus rarement l'eau), et en utilisant le moins possible les moyens techniques mécanisés et le moins d'énergies extérieures au site (généralement polluantes et non renouvelables), tel que les énergies fossiles ou l'électricité, produites et apportées de loin à grands frais.

L'architecture bioclimatique est une discipline de l'architecture, l'art et le savoir-faire de tirer le meilleur parti des conditions d'un site et de son environnement, pour une architecture naturellement la plus confortable pour ses utilisateurs.

Dans les années 80, le Dr. Wolfgang Feist, un physicien de Darmstadt en Allemagne, lance le projet utopique de la maison sans chauffage. Aujourd'hui, 30.000 bâtiments, à conception bioclimatique, existent en Europe.

L'utilisation intelligente de toutes les sources de chaleur liées à l'effet de serre, aux appareils et aux personnes et la qualité et la performance exceptionnelle des parois et des fenêtres engendrent une économie d'énergie de l'ordre de 80 à 90 %: le concept le plus avancé mondialement.



7. MESURES D'ÉCONOMIES ET D'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

7.1 ÉTUDES DE FAISABILITÉ TECHNICO-ÉCONOMIQUE

Moyennant la simulation thermique et l'analyse paramétrique, il est possible de définir les options techniques pour améliorer de manière significative le comportement thermique des bâtiments considérés comme référence, pour mettre en vigueur la nouvelle réglementation.

L'analyse paramétrique énergétique nous permet de modifier les paramètres (épaisseur de l'isolation, protection solaire ...) du bâtiment et de simuler l'impact sur les besoins en chauffage et en climatisation, dans les conditions normale de l'usage dudit bâtiment.

Ensuite, la simulation économique est réalisée où l'on analyse les surcoûts de l'investissement en raison de la mise en œuvre de chacune des options estimées. Cela permet également de déterminer la réduction ou l'augmentation des coûts des installations de chauffage et de climatisation (en fonction de la puissance installée) et en tenant compte de la variation des coûts de maintenance.

Les surcoûts de l'investissement sont déterminés par l'architecte, en se basant sur les prix des matériaux isolants disponibles actuellement au Maroc.

Ces études permettent de déterminer à l'avance la rentabilité économique et technique des changements potentiels réglementaires, liés à la demande d'énergie pour le chauffage, la climatisation et l'eau chaude sanitaire.

À titre d'exemple, dans l'Union Européenne, tous les pays devraient converger en 2020 vers une réglementation qui préconise que tous les bâtiments ressemblent au Standard de la Maison Passive « Passive House ». Dans les pays du Sud (l'Espagne, l'Italie, le Portugal...), il est supposé qu'une réduction de la demande en énergie, puisse être effectuée en deux étapes, de 37% et de 49%.

Pour atteindre les 37% (réduction de 14 kWh/m²), l'on devra investir un montant qui représente 1,4% du coût de construction et 0,46% sur le prix de vente. De même, pour atteindre une réduction de 49% de la demande (réduction de 18,5 kWh/m²), il faudra investir un montant qui représente 2,8% sur le coût de construction et 0,94% sur le prix de vente.

Afin de mener à bien les études d'impact et de faisabilité économique des actions d'isolation plus avancées à celles strictement réglementaires, il a été sollicité de l'information sur le coût estimatif des isolants mis en place, dans les constructions au Maroc, pour les épaisseurs actuelles et d'autres épaisseurs supérieures qui pourraient être implantées dans l'avenir.

Méthode.

Les prix qui ont été considérés sont ceux présentés dans le tableau comparatif des isolants dans l'annexe 9.5. (Tableau 3.- Comparaison des différents produits isolants, en fonction de leurs propriétés et prix).

Nous avons considéré trois groupes d'applications fondamentales, étant donné que les isolants thermiques qui leur sont associés ou leurs coûts de mise en œuvre, sont sensiblement similaires.

Les trois groupes d'applications peuvent être résumés en :

- Parois Verticales (murs, cloisons, fenêtres), isolation des façades de différentes typologies, isolation intérieure, extérieure, intermédiaire.
- Parois Horizontales (planchers, toitures, terrasses), avec l'isolant sous la charge (isolation de toitures plates, planchers avec l'isolant sous pavement, ...).
- Parois Horizontales avec l'isolant sans la charge (toitures avec l'isolant entre les listons, sur les faux-plafonds, ...).

Pour chaque groupe d'applications, nous avons établi une corrélation de la résistance thermique des produits concernés avec le coût estimatif.

Les matériaux considérés, à titre d'exemple, sont la laine minérale (MW), le polyuréthane en mousse (PUR), le polystyrène extrudé (XPS) et le polystyrène expansé (EPS).

Sur ce «nuage de points», les limites «supérieure» (maximum) et «inférieure» (minimum) ont été tracées, qui limitent l'éventail des prix en fonction de la capacité d'isolation des produits.

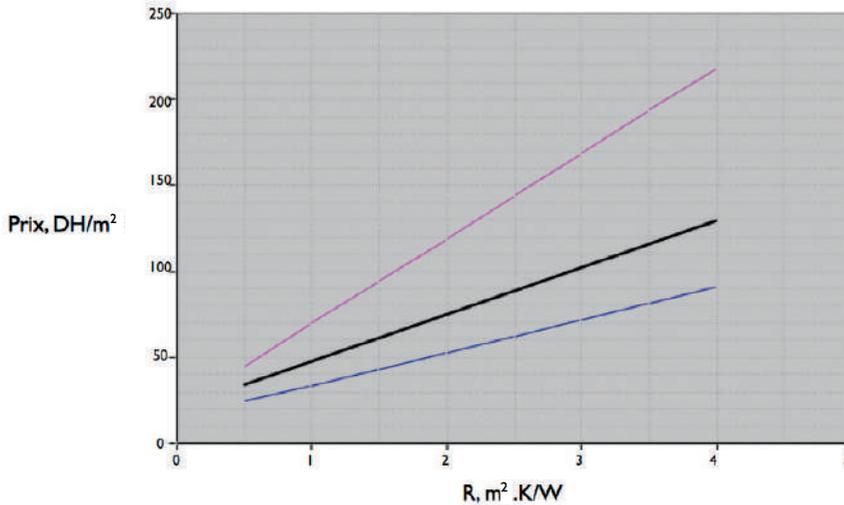
Enfin, nous avons effectué une estimation du prix «moyen» comme une moyenne pondérée des produits considérés, sur la base d'une part de marché « quota » estimée en fonction de ce qui se passe dans les pays de la Méditerranée.

La participation considérée a été de 30% pour la laine minérale (MW), 35 % pour le polyuréthane en mousse (PUR), 20 % pour le polystyrène expansé (EPS) et de 15 % pour le polystyrène extrudé (XPS). Cette estimation correspond à la quote-part du marché dans la rive nord de la méditerranée, où il existe des bases de données statistiques sur la consommation des isolants thermiques.

Les résultats sont présentés moyennant des graphes et de l'expression analytique des lignes «limites» résultantes.

- Parois verticales (murs, cloisons, ..) :
Prix (DH/m²) = 27,32 R + 20,04
- Parois horizontales (planchers, toitures, ..) avec charge:
Prix (DH/m²) = 41,35 R + 20,38
- Parois horizontales (planchers, toitures, ..) sans charge:
Prix (DH/m²) = 17,02 R + 19,45

Mur (vertical)



Graph 8.- Rapport entre le coût estimatif de l'application et la résistance thermique dans le cas des murs. Dans le graphique, sont présentées trois lignes correspondant aux valeurs maximales, minimales et moyennes (couleur noire).

A titre d'exemple, si l'on considère l'isolation des doubles cloisons à Errachidia, dans un bâtiment avec un Taux Global des Baies Vitrées, TGBV = 30%, Il faudrait respecter un coefficient de 0,60 W/m².K, selon ce qui est établi dans le Règlement Thermique de Construction au Maroc (RTCM).

La résistance thermique équivalente du mur serait : $1/0,60 = 1,67 \text{ m}^2.\text{K/W}$.

Si l'on considère cette valeur dans le graphe, l'on obtiendra une estimation de l'intervalle du coût de l'isolation mise en œuvre dans ce bâtiment, dont la valeur moyenne serait de 65,66 DH/m².

7.2 INVESTISSEMENT ET TEMPS DE RETOUR

Il est vrai que si nous parlons de l'efficacité énergétique en matière de l'isolation thermique dans le bâtiment, nous devons parler d'une épaisseur optimale, bien que les économies qui seront obtenues soient directement proportionnelles à l'épaisseur appliquée (pour le même isolant). Une plus grande épaisseur indique également un investissement initial plus élevé et éventuellement, les coûts de main d'œuvre et maintenance plus élevés. Si en plus, on tient en compte que les économies générées sont de plus en plus réduites chaque fois que l'on augmente l'épaisseur de l'isolant, jusque l'on arrive à un point où le surcoût ne soit pas rentable. Pour cela, on devra suivre le Règlement RTCM et d'autres études scientifiques menées localement, au moment d'opter pour l'isolation thermique des bâtiments.

L'épaisseur optimale varie en fonction de nombreux facteurs tels que l'usage et l'occupation du bâtiment, l'efficacité énergétique des équipements du chauffage et climatisation, la zone climatique, les matériaux de construction, la taille et

l'architecture du bâtiment, les charges internes, et bien sûr, le matériau d'isolation choisi, entre autres facteurs.

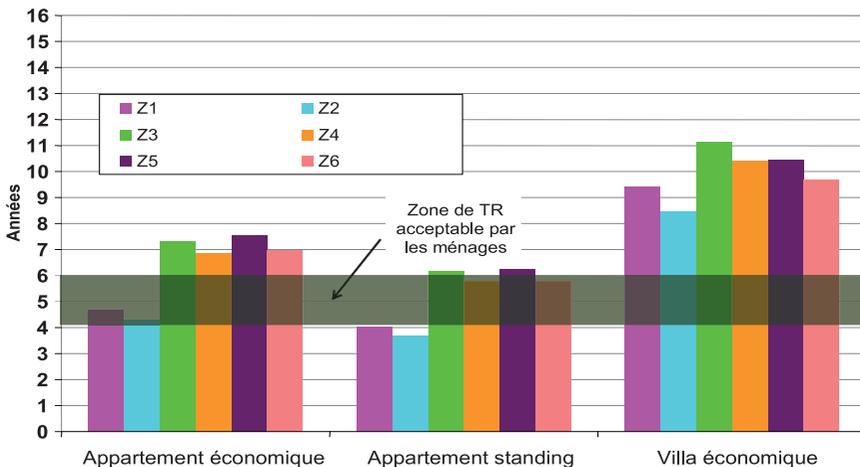
Au Maroc, le Règlement RTCM nous donne différentes valeurs du coefficient de transmission thermique pour les différentes zones climatiques. Toutefois, pour pouvoir visualiser concrètement ce coefficient, l'épaisseur des isolants variera entre 20 et 60 mm, correspondant à la valeur minimale qui devrait être prise en considération. En effet, ce coefficient garantit que, quel que soit les conditions climatiques et celles du bâtiment, entre autres, l'on obtienne toujours des économies d'énergie et un retour plus rapide sur investissement.

Mais, vaut-il vraiment la peine d'investir pour la réhabilitation énergétique d'un bâtiment? La réponse est susceptible de varier selon chaque cas. Toutefois, il est certain que, lorsque l'on projette de rénover ou de restaurer un bâtiment, il est fortement recommandé (en dépit si la réglementation l'oblige ou pas) de le réhabiliter thermiquement, car cela peut générer une économie de 50% ; et profiter ainsi des travaux de rénovation pour réduire davantage les coûts d'investissement pour la mise en place de l'isolation thermique. Cela permettra un retour plus rapide encore sur investissement. En fin de compte, il est important de garder à l'esprit que l'énergie la moins chère et la moins polluante est celle qui n'est pas consommée.

La rentabilité peut être mesurée par l'indicateur temps de retour, qui n'est autre que le nombre d'années nécessaires pour amortir le coût d'investissement grâce aux économies énergétiques générées.

En moyenne sur l'ensemble du pays, le temps de retour pondéré par le poids des zones et le poids des catégories d'habitats est d'environ 6,5 ans, ce qui reste à la limite de la zone de décision favorable à l'investissement pour la grande partie des ménages.

Temps de retour pour le consommateur final selon la zone et la catégorie d'habitat



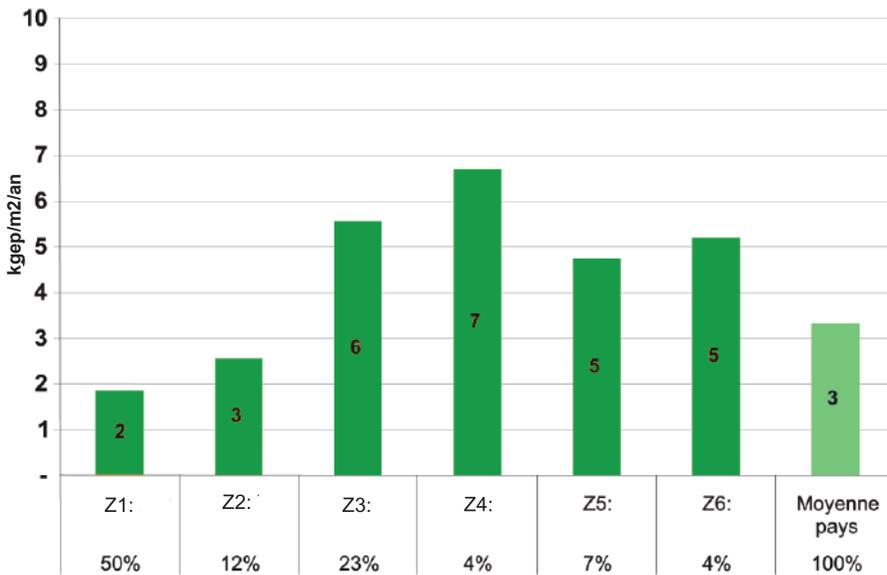
Graph 9.- Temps de retour pour le consommateur final, selon la zone et la catégorie d'habitat (Source: ADEREE)

7.3 IMPACT ÉNERGETIQUE ET ENVIRONNEMENTAL

Le Règlement Thermique de Construction au Maroc RTCM, génère des impacts évidents et d'une grande ampleur à tous les niveaux au Maroc. Nous en citons les plus importants:

1. Des économies substantielles dans la consommation d'énergie, avec la conséquente réduction dans la facture énergétique du pays.
2. La réduction des émissions des Gaz à Effet de Serre et de l'impact sur le changement climatique.
3. L'amélioration de la balance des paiements du pays, qui permettra de disposer de plus de recours économiques pour d'autres investissements publics d'intérêt national.

Gain en énergie primaire selon la zone climatique



Graph 10.- Gain en énergie primaire selon la zone climatique (Source: ADEREE)

Les gains en énergie primaire pour le pays s'élèveraient en moyenne à 3 kgep/m²/an.

En tenant compte des facteurs d'émissions considérés au Maroc, pour les combustibles et pour le réseau électrique, les émissions évitées cumulées sur la période des 20 prochaines années seraient d'environ 20 MteCO₂.

7.4. IMPACT SOCIOCULTUREL, GÉNÉRATION D'EMPLOI

Le développement du secteur de l'efficacité énergétique dans le monde de la construction va générer dans les prochaines années, une série d'impacts positifs importants dans la société.

En raison de l'amélioration énergétique des logements, des hôpitaux, des établissements de l'éducation et d'autres bâtiments publics, les usagers gagneront principalement en termes de confort thermique des conditions intérieures des bâtiments. Ceci, ajouté à l'aspiration naturelle d'avoir une vie meilleure et plus exigeante en confort, va générer une forte croissance dans certains secteurs économiques. Comme le montre, à titre d'illustration, le graphe ci-dessous.

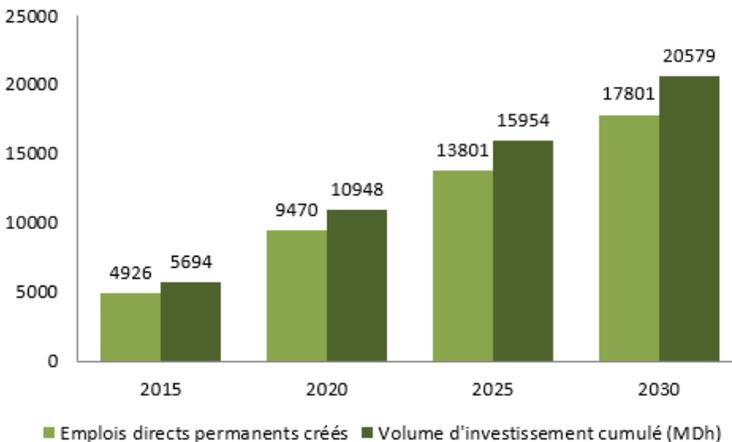
La création d'emplois et d'opportunités

Le bâtiment et les travaux publics sont des secteurs clés dans l'ensemble du système productif marocain et leur développement dépendrait de la réussite dans la façon d'orienter leur croissance. Le Règlement RTCM peut être une pièce essentielle pour la consolidation de l'industrie de la construction, en générant des emplois directs, et surtout, en créant de nouvelles opportunités d'emploi dans les nouveaux métiers liés à l'efficacité énergétique et au secteur de l'isolation thermique, aussi bien dans la production que dans la distribution et la mise en œuvre des isolants dans le bâtiment.

La mise en place de la réglementation permettra la création d'environ 18 000 emplois permanents à l'horizon 2030 et génèrera un volume d'affaires supplémentaires pour les entreprises marocaines de plus de 20 milliards de Dh.

	2015	2020	2025	2030
Emplois directs permanents créés	4 926	9 470	13 801	17 801
Volume d'investissement cumulé (MDh)	5 694	10 948	15 954	20 579

Tableau 14.- Impact sur l'investissement et l'emploi. (Source: ADEREE)



Graph 11.- Impact sur l'investissement et l'emploi. (Source: ADEREE)

8. CONCLUSION

Avec un traitement approprié de l'enveloppe externe du bâtiment: murs, toitures, planchers, ponts thermiques, etc., il est possible de aujourd'hui de construire des bâtiments qui consomment jusqu'à 75% de moins que les bâtiments classiques.

Ce guide, consacré aux techniques de mise en œuvre des matériaux d'isolation dans le bâtiment au Maroc, est destiné aux professionnels de la construction, aux ouvriers et chefs de chantiers, et offre une présentation accessible et pratique des différentes techniques de mise en œuvre..

En outre, le guide met à disposition des responsables et des maîtres d'œuvre, des informations essentielles pour le choix des produits et des matériaux de construction et d'isolation, qui permettent une application facile, en conformité au Règlement Thermique, ainsi qu'une approximation des coûts des produits et leur installation.. Il offre également un aperçu sur quelques projets intégrant des technologies de pointe, en relation avec l'isolation thermique dans le bâtiment.

Ce guide viendra en aide aux architectes, ingénieurs et maîtres d'œuvre en amont à l'utilisation des approches de conception thermique performante de l'enveloppe du bâtiment. Par ailleurs, il aura aidé les chefs de chantiers et opérateurs, à réaliser **les travaux de pose des matériaux** d'isolation selon les règles de l'art, optimisant ainsi la conception de l'enveloppe du bâti indépendamment des systèmes énergétiques mis en œuvre. La mise en œuvre de ces mesures permettra notamment une réduction des besoins en chauffage et en climatisation des bâtiments, tout en améliorant le confort thermique des usagers.



9. ANNEXES

9.1. GLOSSAIRE

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 sauf qu'il 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.

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.

BectH.- 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. 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 approuvés par l'Agence de Développement des Energies Renouvelables et de l'Efficacité Énergétique, en utilisant des données climatiques conventionnelles pour chaque zone et des températures de référence pour le chauffage et la climatisation: 20°C en hiver et 26°C en été.

Taux Global des Baies Vitrées TGBV: Le Taux Global de Baies Vitrées TGBV des espaces chauffés et/ou refroidis d'un bâtiment est défini par le rapport entre la surface totale de leurs baies vitrées (incluant cadres) et la surface totale brute de l'ensemble de leurs murs extérieurs.

Coefficient de Transmission Thermique U: Le coefficient de transmission thermique U d'une paroi correspond au taux d'écoulement de chaleur en régime permanent divisé par mètre carré de surface et par la différence de température entre les environnements situés de part et d'autre de ladite paroi. Ce coefficient est exprimé en W/(m².K). Il est défini comme suit:

$$U = 1 / (1/h_i + 1/h_e + \sum \epsilon_i / \lambda_i + \sum R_j)$$

$1/h_i+1/h_e$: Résistance thermique superficielle d'échange d'une paroi sur les faces intérieure et extérieure par convection et rayonnement ($m^2.K/W$).

Les valeurs conventionnelles des résistances thermiques superficielles: Paroi verticale: $1/h_i+1/h_e = 0,17 m^2.K/W$

Paroi horizontale: $1/h_i+1/h_e = 0,22 m^2.K/W$

- λ_i : Conductivité Thermique du matériau « i » constituant la paroi ($W/m.K$)
- e_i : Epaisseur du matériau « i » constituant la paroi (m)
- R_j : Résistance thermique ($m^2.K/W$)

Resistance thermique R: Est l'inverse du coefficient de transmission thermique. Elle est exprimée en ($m^2.K/W$).

Conductivité Thermique λ : C'est la quantité de chaleur transférée **par unité de surface d'un matériau et par une unité de temps** sous un gradient de température de 1K. Elle est exprimée en **$W/m.K$** .

Facteur Solaire FS: Le facteur solaire (encore appelé Solar Heat Gain Coefficient, SHGC) est la quantité d'énergie solaire, exprimée en pourcentage (%), que l'on retrouve derrière les baies vitrées exposées au rayonnement solaire (sans protections solaires extérieures et intérieures).

Facteur Solaire Equivalent FS*: Le facteur solaire équivalent des baies vitrées est la quantité d'énergie solaire, exprimée en pourcentage (%), que l'on retrouve derrière les baies vitrées associées à leurs protections solaires architecturales extérieures.



9.2. TABLEAUX DES EXIGENCES LIMITES RÉGLEMENTAIRES

	Taux des baies vitrées TGBV	U des toitures exposées (W/m ² .K)	U des murs extérieurs (W/m ² .k)	U des vitrages (W/m ² .k)	R minimale des planchers sur sol (m ² .k/W)	Facteur Solaire FS* des vitrages
Zone climatique réglementaire Z1	≤ 15%	≤ 0,75	≤ 1,20	≤ 5,80	NE	NE
	16-25 %	≤ 0,75	≤ 1,20	≤ 5,80	NE	Nord : NE Autres : ≤ 0,7
	26-35 %	≤ 0,75	≤ 1,20	≤ 3,30	NE	Nord : NE Autres : ≤ 0,5
	36-45 %	≤ 0,65	≤ 1,20	≤ 3,30	NE	Nord : ≤ 0,7 Autres : ≤ 0,3
Zone climatique réglementaire Z2	≤ 15%	≤ 0,75	≤ 0,80	≤ 5,80	NE	NE
	16-25 %	≤ 0,65	≤ 0,80	≤ 3,30	NE	Nord : NE Autres : ≤ 0,7
	26-35 %	≤ 0,65	≤ 0,70	≤ 3,30	NE	Nord : NE Autres : ≤ 0,5
	36-45 %	≤ 0,55	≤ 0,60	≤ 2,60	NE	Nord : ≤ 0,7 Autres : ≤ 0,3
Zone climatique réglementaire Z3	≤ 15%	≤ 0,65	≤ 0,80	≤ 3,30	≥ 0,75	NE
	16-25 %	≤ 0,65	≤ 0,80	≤ 3,30	≥ 0,75	Nord : NE Autres : ≤ 0,7
	26-35 %	≤ 0,65	≤ 0,70	≤ 2,60	≥ 0,75	Nord : NE Autres : ≤ 0,5
	36-45 %	≤ 0,55	≤ 0,60	≤ 1,90	≥ 0,75	Nord : ≤ 0,7 Autres : ≤ 0,5
Zone climatique réglementaire Z4	≤ 15%	≤ 0,55	≤ 0,60	≤ 3,30	≥ 1,25	NE
	16-25 %	≤ 0,55	≤ 0,60	≤ 3,30	≥ 1,25	Nord : NE Autres : ≤ 0,7
	26-35 %	≤ 0,55	≤ 0,60	≤ 2,60	≥ 1,25	Nord : ≤ 0,7 Autres : ≤ 0,6
	36-45 %	≤ 0,49	≤ 0,55	≤ 1,90	≥ 1,25	Nord : ≤ 0,6 Autres : ≤ 0,5
Zone climatique réglementaire Z5	≤ 15%	≤ 0,65	≤ 0,80	≤ 3,30	≥ 1,00	NR
	16-25 %	≤ 0,65	≤ 0,70	≤ 3,30	≥ 1,00	Nord : NE Autres : ≤ 0,7
	26-35 %	≤ 0,55	≤ 0,60	≤ 2,60	≥ 1,00	Nord : ≤ 0,6 Autres : ≤ 0,4
	36-45 %	≤ 0,49	≤ 0,55	≤ 1,90	≥ 1,00	Nord : ≤ 0,5 Autres : ≤ 0,3
Zone climatique réglementaire Z6	≤ 15%	≤ 0,65	≤ 0,80	≤ 3,30	≥ 1,00	NR
	16-25 %	≤ 0,65	≤ 0,70	≤ 3,30	≥ 1,00	Nord : NE Autres : ≤ 0,7
	26-35 %	≤ 0,55	≤ 0,60	≤ 2,60	≥ 1,00	Nord : ≤ 0,6 Autres : ≤ 0,4
	36-45 %	≤ 0,49	≤ 0,55	≤ 1,90	≥ 1,00	Nord : ≤ 0,5 Autres : ≤ 0,3

NE : Pas d'exigence.

U des planchers exposés sur pilotis est le même que celui de la toiture.

Tableau 1.- Les exigences limites Règlementaires des caractéristiques thermiques de l'enveloppe des bâtiments résidentiels

	Taux des baies vitrées TGBV	U des toitures exposées (W/m ² .K)	U des murs extérieurs (W/m ² .k)	U des vitrages (W/m ² .k)	R minimale des planchers sur sol (m ² .k/W)	Facteur Solaire FS* des vitrages
Zone climatique réglementaire Z1	≤ 15%	≤ 0,75	≤ 1,20	≤ 5,80	NE	NE
	16-25 %	≤ 0,65	≤ 1,20	≤ 5,80	NE	Nord : NE Autres : ≤ 0,7
	26-35 %	≤ 0,65	≤ 1,20	≤ 3,30	NE	Nord : NE Autres : ≤ 0,5
	36-45 %	≤ 0,55	≤ 1,20	≤ 3,30	NE	Nord : ≤ 0,7 Autres : ≤ 0,3
Zone climatique réglementaire Z2	≤ 15%	≤ 0,65	≤ 0,80	≤ 5,80	NE	NE
	16-25 %	≤ 0,65	≤ 0,80	≤ 3,30	NE	Nord : NE Autres : ≤ 0,7
	26-35 %	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 3,30	NE	Nord : NE Autres : ≤ 0,5
	36-45 %	≤ 0,55	≤ 0,60	≤ 2,60	NE	Nord : ≤ 0,7 Autres : ≤ 0,3
Zone climatique réglementaire Z3	≤ 15%	≤ 0,65	≤ 0,80	≤ 3,30	≥ 0,75	NE
	16-25 %	≤ 0,65	≤ 0,80	≤ 3,30	≥ 0,75	Nord : NE Autres : ≤ 0,7
	26-35 %	≤ 0,55	≤ 0,70	≤ 2,60	≥ 0,75	Nord : NE Autres : ≤ 0,5
	36-45 %	≤ 0,49	≤ 0,60	≤ 1,90	≥ 0,75	Nord : ≤ 0,7 Autres : ≤ 0,5
Zone climatique réglementaire Z4	≤ 15%	≤ 0,55	≤ 0,60	≤ 3,30	≥ 1,25	NR
	16-25 %	≤ 0,55	≤ 0,60	≤ 3,30	≥ 1,25	Nord : NE Autres : ≤ 0,7
	26-35 %	≤ 0,49	≤ 0,60	≤ 2,60	≥ 1,25	Nord : ≤ 0,7 Autres : ≤ 0,6
	36-45 %	≤ 0,49	≤ 0,55	≤ 1,90	≥ 1,25	Nord : ≤ 0,6 Autres : ≤ 0,5
Zone climatique réglementaire Z5	≤ 15%	≤ 0,65	≤ 0,80	≤ 3,30	≥ 1,00	NR
	16-25 %	≤ 0,65	≤ 0,70	≤ 3,30	≥ 1,00	Nord : NE Autres : ≤ 0,7
	26-35 %	≤ 0,55	≤ 0,60	≤ 2,60	≥ 1,00	Nord : ≤ 0,6 Autres : ≤ 0,4
	36-45 %	≤ 0,49	≤ 0,55	≤ 1,90	≥ 1,00	Nord : ≤ 0,5 Autres : ≤ 0,3
Zone climatique réglementaire Z6	≤ 15%	≤ 0,65	≤ 0,80	≤ 3,30	≥ 1,00	NE
	16-25 %	≤ 0,65	≤ 0,70	≤ 3,30	≥ 1,00	Nord : NE Autres : ≤ 0,7
	26-35 %	≤ 0,55	≤ 0,60	≤ 2,60	≥ 1,00	Nord : ≤ 0,6 Autres : ≤ 0,4
	36-45 %	≤ 0,49	≤ 0,55	≤ 1,90	≥ 1,00	Nord : ≤ 0,5 Autres : ≤ 0,3

NE : Pas d'exigence.

U des planchers exposés sur pilotis est le même que celui de la toiture.

Tableau 2.- Les exigences limites Règlementaires des caractéristiques thermiques de l'enveloppe des bâtiments tertiaires

9.3. LISTE NON EXHAUSTIVE DES FOURNISSEURS DES MATÉRIAUX D'ISOLATION AU MAROC

DISTRIBUTEURS DES MATÉRIAUX ISOLANTS:

- Libaud Maroc Trade «Bigmat» (LMT «Bigmat»), Casablanca.
- Emrig, Casablanca.
- Entreprise Maghrébine de Réfractaire d'Isolation Générale, Casablanca.
- Interfer, Casablanca.
- Construction Isolation Maroc – Isoa, Casablanca.
- Béton Expancé s.a.r.l., Casablanca.
- Castory s.a.r.l., Casablanca.
- SEPROSI, Casablanca
- Sorex, Casablanca
- Isolane, Casablanca
- Beausite, Casablanca
- Isolaya, Casablanca)
- Oukacha, Casablanca
- Etanchéité du Casa Nord, Casablanca

GRANDS FABRICANTS QUI VENDENT LES MATÉRIAUX ISOLANTS AU MAROC:

- Isover Saint Gobain
- Knaufinsulation
- Danosa Maroc
- Topox
- Dow Building Solutions

FABRICANTS DES MATÉRIAUX ISOLANTS AU MAROC :

- Izar, Casablanca.
Fabrication emballage en polystyrène expansé.
- LMN - Les Matériaux Nouveaux, Casablanca.
Fabrication de polystyrène expansé.
- PANAF ISOLATION, Casablanca.
Fabrication d'équipements aérauliques et frigorifiques industriels.
- Isolants Thermiques et Assimilés en Polystyrène (ITAP), Settat.
Fabrication des plaques en polystyrène expansés.
- Sodiflex, Casablanca.
Fabrication de mousse de polyuréthane, produits en mousse.

9.4. RÉSUMÉ DES FICHES DES PRODUITS

Produit: Laine de verre (MW)

PRODUIT

DESCRIPTION:

PRÉSENTATION:

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES:

Conductivité thermique (W/m K)

Résistance à la vapeur d'eau (μ)

Densité (kg/m³)

Comportement au feu (classe)

Résistance à la compression (kPa)

APPLICATIONS:

PRIX (DH/m²)

COÛT DE MISE EN ŒUVRE (DH/m²)

OBSERVATIONS:

LAINES DE VERRE (MW)

Matériau fabriqué à partir des fibres de silice fondue dans des fours à hautes températures.

En rouleaux ou en plaques.

0,034-0,050

1-4

15-60

A

20-50

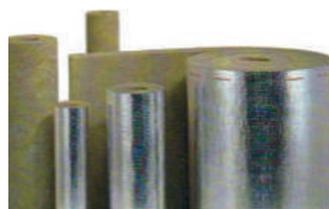
Isolation des parois, planchers et toitures.

60-90

20-25

Perméable à la vapeur d'eau.

Bonnes propriétés d'isolation acoustique.



Produit: Polyuréthane (PUR)

PRODUIT

DESCRIPTION:

PRÉSENTATION:

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES:

Conductivité thermique (W/m K)

Résistance à la vapeur d'eau (μ)

Densité (kg/m³)

Comportement au feu (classe)

Résistance à la compression (kPa)

POLYURETHANE (PUR)

Matériau obtenu moyennant la réaction chimique d'un polyol, un isocyanate et un gaz d'expansion.

Le polyuréthane se présente ainsi sous forme d'une structure alvéolaire renfermant un gaz encore plus isolant que l'air.

Sous forme de plaques pour toitures plates, ou en état liquide : mousse préparée sur chantier, pour doubles cloisons et toitures.

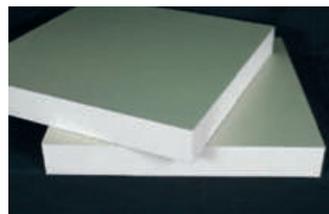
0,022-0,0030

20-80

30-50

B

80-200



APPLICATIONS:

Isolation des parois, planchers et toitures.
Isolation industrielle.

PRIX (DH/m²)

60-100

COÛT DE MISE EN ŒUVRE (DH/m²)

20-40

OBSERVATIONS:

Requiert une protection contre les UV.
Requiert une protection contre le feu.

Produit: Polystyrène expansé (EPS)

PRODUIT

POLYSTYRENE EXPANSE (EPS)

DESCRIPTION:

Matériau obtenu par polymérisation de styrène (enchaînement de molécules identiques). L'expansion du polystyrène est obtenue par action de la vapeur d'eau. Pour cela, on mélange les billes de polystyrène expansible avec l'agent gonflant (pentane) et on chauffe (vapeur d'eau >+ 100°C) pour former des billes pré-expansées.

PRÉSENTATION:

Sous forme de plaques.
Sous forme de billes en vrac, pour béton allégé.

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES:

Conductivité thermique (W/m K)

0.032-0,050

Résistance à la vapeur d'eau (μ)

20-80

Densité (kg/m³)

15-25

Comportement au feu (classe)

E

Résistance à la compression (kPa)

50-200



APPLICATIONS:

Murs, toitures et planchers.

PRIX (DH/m²)

30-70

COÛT DE MISE EN ŒUVRE (DH/m²)

10-20

OBSERVATIONS:

Imputrescible (capacité du matériau ou composé de ne pas se putréfier).
Bonne stabilité dimensionnelle.

Produit: Polystyrène extrudé (XPS)

PRODUIT
DESCRIPTION:
PRÉSENTATION:
CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES:
Conductivité thermique (W/m K)
Résistance à la vapeur d'eau (μ)
Densité (kg/m ³)
Comportement au feu (classe)
Résistance à la compression (kPa)
APPLICATIONS:
PRIX (DH/m²)
COÛT DE MISE EN ŒUVRE (DH/m²)
OBSERVATIONS:

POLYSTYRENE EXTRUDE (XPS)

Matériau obtenu à partir de l'extrusion des résines de polystyrène avec des aditifs et agents d'expansion pour créer une structure de cellule fermée.

Sous forme de plaques
Sous forme de panneaux composites

0.028-0,036

60-200

30-50

E

150-700

Toitures, planchers, Sous-sols, fondations et murs.

50-80

10-20

Excellent comportement à l'eau.

Recommandé pour les toitures inversées.



Produit: Laine de roche

PRODUIT
DESCRIPTION:
PRÉSENTATION:
CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES:
Conductivité thermique (W/m K)
Résistance à la vapeur d'eau (μ)
Densité (kg/m ³)
Comportement au feu (classe)
Résistance à la compression (kPa)

LAINES DE ROCHE

Matériau fabriqué à partir des roches basaltiques fondues dans des fours à 1500 °C, pour obtenir des fibres qui sont agglomérées et hydrophobes, avec l'aide d'additifs.

Sous forme de plaques, de rouleaux ou en vrac pour injection.

0,034-0,050

0,8-2,2

20-150

A

50-100



APPLICATIONS:

Isolation des toitures et planchers.
 Isolation industrielle à hautes températures.

PRIX (DH/m²)

80-90

COÛT DE MISE EN ŒUVRE (DH/m²)

20-25

OBSERVATIONS:

Matériau hygroscopique.
 Bon comportement à hautes températures.

Produit: Liège aggloméré

PRODUIT

LIEGE AGGLOMERE

DESCRIPTION:

Matériau élaboré à partir de l'écorce du chêne-liège, aggloméré par sa propre résine avec l'aide de la vapeur d'eau.

PRÉSENTATION:

Sous forme de plaques.
 Granulé en sacs.

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES:

Conductivité thermique (W/m K)

0.032-0,050

Résistance à la vapeur d'eau (μ)

10-15

Densité (kg/m³)

80-140

Comportement au feu (classe)

E

Résistance à la compression (kPa)

10-20



APPLICATIONS:

Isolation des toitures, murs et planchers.

PRIX (DH/m²)

60-90

COÛT DE MISE EN ŒUVRE (DH/m²)

20-25

OBSERVATIONS:

Il est difficile d'éviter les ponts thermiques pour certaines applications.
 Bonnes propriétés acoustiques.

Produit: Perlite expansée

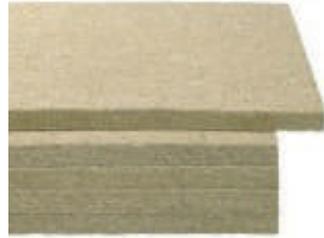
PRODUIT	PERLITE EXPANSEE	
DESCRIPTION:	Matériau obtenu à partir des roches volcaniques calcinées et expansé à plus de 1000 °C. il est dilaté grâce aux creux initialement occupés par l'eau de cristallisation.	
PRÉSENTATION:	Sous forme de panneaux ou en vrac.	
CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES:		
Conductivité thermique (W/m K)	0,045-0,050	
Résistance à la vapeur d'eau (μ)	5-10	
Densité (kg/m ³)	90-170	
Comportement au feu (classe)	A	
Résistance à la compression (kPa)	20-40	
APPLICATIONS:	Toitures, Planchers et béton léger isolant.	
PRIX (DH/m²)	60-90	
COÛT DE MISE EN ŒUVRE (DH/m²)	20-25	
OBSERVATIONS:	<p>Contrôler la sédimentation dans les doubles cloisons, lorsqu'il est utilisé en vrac.</p> <p>Matériau incombustible: très bonne résistance au feu.</p>	

Produit: laine de chanvre

PRODUIT	LAINE DE CHANVRE	
DESCRIPTION:	Matériau issu de fibres naturelles de chanvre conditionnées sous forme de nappes, auxquelles est ajouté un liant à base de fibres de polyester (entre 10 et 25 %) afin de constituer un matelas de fibreux souple et d'assurer la cohésion de ce matelas.	
PRÉSENTATION:	Présenté sous forme de rouleaux, panneaux semi-rigides ou en vrac.	

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES:

Conductivité thermique (W/m K)	0,039-0,045
Résistance à la vapeur d'eau (μ)	1-2
Densité (kg/m ³)	20-50
Comportement au feu (classe)	E
Résistance à la compression (kPa)	10-20



APPLICATIONS:

Toitures, doubles cloisons et planchers.

PRIX (DH/m²)

75-100

COÛT DE MISE EN ŒUVRE (DH/m²)

20-25

OBSERVATIONS:

Ne doit pas être exposé à des sources de feu à proximité.

Il est recommandé que cet isolant reçoive un traitement additionnel ignifuge.

Sous sa forme vrac, la laine de chanvre peut se tasser dans le temps. Il est donc préférable de la réserver au traitement des parties horizontales du bâtiment.

Produit: Laine de mouton

PRODUIT

LAINES DE MOUTON

DESCRIPTION:

Produit élaboré à base des fibres naturelles de mouton et traitées avec de l'acide borique, conditionnées sous forme de matelas en y ajoutant un liant à base de fibres synthétiques de polyester (entre 15 et 25 %).

PRÉSENTATION:

Feutres, matelas ou panneaux agglomérés.

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES:

Conductivité thermique (W/m K)	0,039-0,045
Résistance à la vapeur d'eau (μ)	1-2
Densité (kg/m ³)	35-85
Comportement au feu (classe)	E
Résistance à la compression (kPa)	10-20



APPLICATIONS:	Toitures et plafonds suspendus. Doubles cloisons et murs de séparation.
PRIX (DH/m²)	80-100
COÛT DE MISE EN ŒUVRE (DH/m²)	20-25
OBSERVATIONS:	Lors de la pose dans des endroits fermés, il est recommandé de porter des masques anti-poussière et des protecteurs pour les yeux. Matériau hygroscopique.

Produit: Ouate de cellulose

PRODUIT	OUATE DE CELLULOSE
DESCRIPTION:	Matériau fabriqué à partir d'environ 85 % de journaux recyclés. les 15 % restants étant un additif ignifugeant comme l'acide borique ; ainsi que des additifs contre les champignons, les rongeurs et les insectes.
PRÉSENTATION:	Sous forme de plaques ou en vrac.
CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES:	
Conductivité thermique (W/m K)	0,039-0,055
Résistance à la vapeur d'eau (μ)	1-2
Densité (kg/m ³)	30-50
Comportement au feu (classe)	B
Résistance à la compression (kPa)	5-25
APPLICATIONS:	Isolation des doubles cloisons, toitures et sous-pentes.
PRIX (DH/m²)	40-80
COÛT DE MISE EN ŒUVRE (DH/m²)	30-50
OBSERVATIONS:	Matériau hygroscopique. La cellulose doit être bien compacte dans le comble de la double cloison, afin de maintenir l'isolation thermique à long terme.



9.5. RÉSUMÉ DES PROPRIÉTÉS FONDAMENTALES DES MATÉRIAUX LES PLUS UTILISÉS

ISOLANT THERMIQUE	CONDUCTIVITÉ THERMIQUE W/m.K	RÉSISTANCE A LA VAPEUR D'EAU μ	RÉSISTANCE A LA COMPRESSION kPa	DENSITÉ kg/m ³	COMPORTEMENT AU FEU classe	PRIX DH/m ²	COÛT DE MISE EN ŒUVRE DH/m ²
Laine de roche	0,034-0,050	0,8-2,2	50-100	20-150	A	80-90	20-25
Laine de verre	0,034-0,050	1-4	20-50	15-60	A	60-90	20-25
Polyuréthane	0,022-0,030	20-80	80-200	30-50	B	60-100	20-40
Polystyrène extrudé	0,028-0,036	60-200	150-700	30-50	E	50-80	10-20
Polystyrène expansé	0,032-0,050	20-80	20-80	15-25	E	30-70	10-20
Liège	0,032-0,050	10-15	10-20	80-140	E	60-90	20-25
Perlite expansée	0,045-0,050	5-10	20-40	90-170	A	60-90	20-25
Fibre de chanvre	0,039-0,045	1-2	10-20	20-50	E	75-100	20-25
Laine de mouton	0,039-0,045	1-2	10-20	35-85	E	80-100	20-25
Ouate de cellulose	0,039-0,055	1-2	5-25	30-50	B	40-80	30-50

Tableau 3.- Comparaison des différents produits isolants, en fonction de leurs propriétés et prix.

9.6. TABLEAU DES NORMES RELATIVES A L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

Référence	Année	Titre	Indice de classement
NM ISO 4067-1	2003	Dessins techniques – Installations – Partie 1 : Symboles graphiques pour plomberie, chauffage, ventilation et canalisations.	10.4.031
NM ISO 6412-3	2005	Dessins techniques – Représentation simplifiée des tuyaux et lignes de tuyauteries – Partie 3 : Accessoires pour les systèmes de ventilation et de drainage.	10.4.320
NM EN 15265	2011	Performances thermiques des bâtiments - Calcul des besoins d'énergie pour le chauffage et le refroidissement des locaux - Critères généraux et procédures de validation.	10.8.608
NM EN 832	2011	Performance thermique des bâtiments - Calcul des besoins d'énergie pour le chauffage - Bâtiments résidentiels.	10.8.611
NM ISO 5136	2007	Acoustique – Détermination de la puissance acoustique rayonnée dans un conduit par des ventilateurs et d'autres systèmes de ventilation – Méthode en conduit.	19.1.022
NM ISO 6243	2005	Données climatiques pour la conception des bâtiments – Système de symboles proposé.	10.8.777
NM ISO 15927-6-2010		Performance hygrothermique des bâtiments - Calcul et présentation des données climatiques - Partie 6 : Écarts de température cumulés (degrés-jour).	10.8.845
NM 19.7.003	2010	Produits isolants thermiques pour le bâtiment - Produits manufacturés en polystyrène expansé (EPS) – Spécifications.	19.7.003
NM EN 13164		Produits isolants thermiques pour le bâtiment - Produits manufacturés en mousse de polystyrène extrudé (XPS) – Spécification.	19.7.004
NM 19.7.005	2010	Produits isolants thermiques pour le bâtiment - Produits manufacturés en mousse rigide de polyuréthane (PUR) – Spécifications.	19.7.005

Référence	Année	Titre	Indice de classement
NM 19.7.006	2010	Produits isolants thermiques pour le bâtiment - Produits manufacturés en mousse phénolique (PF) – Spécifications.	19.7.006
NM 19.7.007	2010	Produits isolants thermiques pour le bâtiment - Produits manufacturés en verre cellulaire (CG) – Spécifications.	19.7.007
NM 19.7.008	2010	Produits isolants thermiques pour le bâtiment - Produits manufacturés en laine de bois (WW) – Spécifications.	19.7.008
NM EN 13169	2012	Produits isolants thermiques pour le bâtiment - Produits manufacturés en perlite expansée (EPB) – Spécifications.	19.7.013
NM 19.7.014	2009	Produits isolants thermiques pour le bâtiment - Isolation thermique formée en place à base de produits de perlite expansée (EP) - Spécifications des produits liés et en vrac avant la mise en place.	19.7.014
NM 19.7.015	2009	Produits isolants thermiques pour le bâtiment - Isolation thermique formée en place à base de produits de perlite expansée (EP) - Spécifications des produits mis en place.	19.7.015
NM ISO 13787	2011	Produits isolants thermiques pour l'équipement du bâtiment et les installations industrielles - Détermination de la conductivité thermique déclarée.	19.7.016
NM ISO 20393	2009	Matériaux d'isolation thermique - Détermination de l'absorption d'eau à long terme par diffusion.	19.7.017
NM ISO 20394	2009	Matériaux d'isolation thermique - Détermination de la résistance au gel-dégel.	19.7.019
NM 19.7.020	2010	Produits isolants thermiques pour le bâtiment - Produits manufacturés en liège expansé (ICB) – Spécifications.	19.7.020
NM 19.7.021	2010	Produits isolants thermiques pour le bâtiment - Produits manufacturés en fibres de bois (WF) – Spécifications.	19.7.021
NM EN 823	2011	Produits isolants thermiques destinés aux applications du bâtiment - Détermination de l'épaisseur.	19.7.023

Référence	Année	Titre	Indice de classement
NM EN 822		Produits isolants thermiques destinés aux applications du bâtiment - Détermination de la longueur et de la largeur.	19.7.024
NM EN 824	2012	Produits isolants thermiques destinés aux applications du bâtiment - Détermination de l'équerrage.	19.7.025
NM EN 825	2011	Produits isolants thermiques destinés aux applications du bâtiment - Détermination de la planéité	19.7.026
NM EN 826		Produits isolants thermiques destinés aux applications du bâtiment - Détermination du comportement en compression.	19.7.027
NM EN 1602		Produits isolants thermiques destinés aux applications du bâtiment - Détermination de la masse volumique apparente.	19.7.028
NM EN 1604		Produits isolants thermiques destinés aux applications du bâtiment - Détermination de la stabilité dimensionnelle dans des conditions de température et d'humidité spécifiées.	19.7.030
NM EN 1605		Produits isolants thermiques destinés aux applications du bâtiment - Détermination de la déformation sous charge en compression et conditions de température spécifiées.	19.7.031
NM EN 1606		Produits isolants thermiques destinés aux applications du bâtiment - Détermination du fluage en compression.	19.7.032
NM EN 1607		Produits isolants thermiques destinés aux applications du bâtiment - Détermination de la résistance à la traction perpendiculairement aux faces.	19.7.033
NM EN 12089	2011	Produits isolants thermiques destinés aux applications du bâtiment - Détermination du comportement en flexion.	19.7.034

Référence	Année	Titre	Indice de classement
NM EN 13494	2011	Produits isolants thermiques destinés aux applications du bâtiment - Détermination de l'adhérence par de la colle et de la couche de base sur matériau d'isolation thermique.	19.7.035
NM EN 13499		Produits isolants thermiques pour bâtiments - Systèmes composites d'isolation thermique par l'extérieur à base de polystyrène expansé (ETICS) – Spécification.	19.7.036
NM EN 14317-1		Produits isolants thermiques pour le bâtiment - Produits d'isolation thermique à base de vermiculite exfoliée formés en place - Partie 1: spécifications relatives aux produits en vrac ou agglomérés avant mise en œuvre.	19.7.037
NM EN 14317-2	2011	Produits isolants thermiques pour le bâtiment - Produits d'isolation thermique à base de vermiculite exfoliée (EV) formés en place - Partie 2: spécification des produits mis en place.	19.7.038
NM EN 12085		Produits isolants thermiques destinés aux applications du bâtiment - Détermination des dimensions linéaires des éprouvettes d'essai.	19.7.039
NM EN 12086		Produits isolants thermiques destinés aux applications du bâtiment - Détermination des propriétés de transmission de la vapeur d'eau.	19.7.040
NM EN 12088		Produits isolants thermiques destinés aux applications du bâtiment - Détermination de l'absorption d'eau à long terme, essai par diffusion.	19.7.041
NM EN 12090		Produits isolants thermiques destinés aux applications du bâtiment - Détermination du comportement en cisaillement.	19.7.042
NM EN 12091		Produits isolants thermiques destinés aux applications du bâtiment - Détermination de la résistance aux effets du gel-dégel.	19.7.043

Référence	Année	Titre	Indice de classement
NM EN 13820		Matériaux isolants thermiques destinés aux applications du bâtiment - Détermination du contenu organique.	19.7.044
NM ISO 2219	2011	Agglomérés expansés purs de liège pour isolation thermique-Caractéristiques, échantillonnage et emballage.	19.7.046
NM ISO 8142	2011	Isolation thermique - Isolations de tuyaux en fibres minérales manufacturées préformées encollées – Spécification.	19.7.047
NM ISO 8144-1	2011	Isolation thermique - Feutres en laine minérale pour sous-toitures ventilées -Partie 1: Spécifications pour application dans des conditions de ventilation restreinte.	19.7.048
NM ISO 8144-2	2011	Isolation thermique - Feutres en laine minérale pour sous-toitures Ventilées - Partie 2 : Spécifications pour application horizontale avec ventilation libre.	19.7.049
NM ISO 8145	2011	Isolation thermique - Panneaux rigides en laine minérale pour l'isolation par l'extérieur des toitures-terrasses – Spécifications.	19.7.050
NM ISO 11561	2011	Vieillessement des matériaux isolants thermiques — Détermination du changement à long terme de la résistance thermique des plastiques alvéolaires à cellules fermées (méthodes d'essai de laboratoire accélérées).	19.7.051
NM EN 13471	2012	Produits isolants thermiques pour l'équipement du bâtiment et les installations industrielles - Détermination du coefficient de dilatation thermique.	19.7.052
NM EN 13495	2011	Produits isolants thermiques destinés aux applications du bâtiment - Détermination de la résistance à l'arrachement des systèmes composites d'isolation thermique par l'extérieur (systèmes I.T.E) (essai au bloc de mousse).	19.7.053

Référence	Année	Titre	Indice de classement
NM EN 12087	2012	Produits isolants thermiques destinés aux applications du bâtiment - Détermination de l'absorption d'eau à long terme - Essai par immersion.	19.7.054
NM EN 12430	2012	Produits isolants thermiques destinés aux applications du bâtiment - Détermination du comportement sous charge ponctuelle.	19.7.055
NM EN 1608	2012	Produits isolants thermiques destinés aux applications du bâtiment - Détermination de la résistance à la traction parallèlement aux faces.	19.7.056
NM EN 13172	2012	Indice de classement Produits isolants thermiques - Evaluation de la conformité.	19.7.057
NM EN 12429	2012	Produits isolants thermiques destinés aux applications du bâtiment - Conditionnement jusqu'à l'équilibre hygroscopique dans des conditions de température et d'humidité spécifiées.	19.7.059
NM ISO 6946	2007	Composants et parois de bâtiments - Résistance thermique et coefficient de transmission thermique - Méthode de calcul.	19.8.003
NM ISO 9165	2007	Caractéristiques thermiques utiles des matériaux et des produits de construction.	19.8.005
NM ISO 9869	2007	Isolation thermique – Eléments de construction – Mesurage in situ de la résistance thermique et du coefficient de transmission thermique.	19.8.006
NM ISO 9972	2007	Isolation thermique - Détermination de l'étanchéité à l'air des bâtiments - Méthode de pressurisation par ventilateur.	19.8.007
NM ISO 10456	2007	Matériaux et produits du bâtiment — Procédures pour la détermination des valeurs thermiques déclarées et utiles.	19.8.010
NM ISO 12241	2008	Isolation thermique des équipements du bâtiment et des installations industrielles - Méthodes de calcul;	19.8.011

Référence	Année	Titre	Indice de classement
NM ISO 12567-1	2007	Isolation thermique des fenêtres et portes — Détermination de la transmission thermique par la méthode à la boîte chaude — Partie 1: Fenêtres et portes complètes.	19.8.012
NM ISO 12569	2007	Performances thermiques des bâtiments — Détermination du renouvellement d'air dans les bâtiments — Méthode de dilution de gaz traceurs.	19.8.013
NM ISO 13370	2007	Performance thermique des bâtiments - Transfert de chaleur par le sol – Méthodes de calcul.	19.8.014
NM ISO 13786	2007	Performance thermique des composants de bâtiment — Caractéristiques thermiques dynamiques — Méthodes de calcul.	19.8.015
NM ISO 14683	2007	Ponts thermiques dans les bâtiments — Coefficient de transmission thermique linéique — Méthodes simplifiées et valeurs par défaut ;	19.8.017
NM ISO 9251	2007	Isolation thermique – Conditions de transfert thermique et propriétés des matériaux – Vocabulaire.	19.8.019
NM ISO 9288	2007	Isolation thermique – Transfert de chaleur par rayonnement – Grandeurs physiques et définitions.	19.8.020
NM ISO 10211-2	2007	Ponds thermiques dans les bâtiments – Calcul des flux thermiques et des températures superficielles – Partie 2: Ponts thermiques linéaires.	19.8.021
NM ISO 12567-2	2008	Isolation thermique des fenêtres et portes - Détermination de la transmission thermique par la méthode à la boîte chaude - Partie 2: Fenêtres de toit et autres fenêtres en saillie.	19.8.022
NM ISO 9346	2007	Isolation thermique – Transfert de masse – Grandeurs physiques et définitions.	19.8.023
NM ISO 12572	2008	Performance hygrothermique des matériaux et produits pour le bâtiment - Détermination des propriétés de transmission de la vapeur d'eau.	19.8.024

Référence	Année	Titre	Indice de classement
NM ISO 7345	2007	Isolation thermique - Grandeurs physiques et définitions.	19.8.025
NM ISO 9229	2010	Isolation thermique – Vocabulaire.	19.8.026
NM ISO 13791	2008	Performance thermique des bâtiments - Calcul des températures intérieures en été d'un local sans dispositif de refroidissement - Critères généraux et méthodes de calcul.	19.8.028
NM ISO 13792	2008	Performance thermique des bâtiments - Calcul des températures intérieures en été d'un local sans dispositif de refroidissement mécanique - Méthodes simplifiées.	19.8.029
NM ISO 13793	2008	Performance thermique des bâtiments - Conception thermique des fondations pour éviter les poussées dues au gel.	19.8.030
NM ISO 13788	2008	Performance hygrothermique des composants et parois de bâtiments - Température superficielle intérieure permettant d'éviter l'humidité superficielle critique et la condensation dans la masse - Méthodes de calcul.	19.8.031
NM ISO 15927-4	2007	Performance hygrothermique des bâtiments — Calcul et présentation des données climatiques — Partie 4: Données horaires pour l'évaluation du besoin énergétique annuel de chauffage et de refroidissement.	19.8.035
NM ISO 15927-5	2007	Performance hygrothermique des bâtiments — Calcul et présentation des données climatiques — Partie 5: Données pour la charge calorifique de conception pour le chauffage des locaux.	19.8.036
NM ISO 8302	2009	Isolation thermique - Détermination de la résistance thermique et des propriétés connexes en régime stationnaire - Méthode de la plaque chaude gardée.	19.8.040

Référence	Année	Titre	Indice de classement
NM ISO 8497	2009	Isolation thermique - Détermination des propriétés relatives au transfert de chaleur en régime stationnaire dans les isolants thermiques pour conduites.	19.8.041
NM ISO 10051	2009	Isolation thermique - Effets de l'humidité sur les propriétés relatives au transfert de chaleur - Détermination de la transmissivité thermique d'un matériau humide.	19.8.042
NM EN 12667	2011	Performance thermique des matériaux et produits pour le bâtiment - Détermination de la résistance thermique par la méthode de la plaque chaude gardée et la méthode fluxmétrique - Produits de haute et moyenne résistance thermique.	19.8.043
NM ISO 6781	2011	Isolation thermique - Détection qualitative d'irrégularités thermiques dans des enveloppes de bâtiments – Méthode infrarouge.	19.8.055
NM ISO 8301	2011	Isolation thermique - Détermination de la résistance thermique et des propriétés connexes en régime stationnaire – Méthode fluxmétrique.	19.8.056
NM ISO 12570	2011	Performance hygrothermique des matériaux et produits pour le bâtiment — Détermination du taux d'humidité par séchage à chaud.	19.8.057

10. BIBLIOGRAPHIE

- 1) Construire Passif aujourd'hui. Fédération Française de la Construction Passive, 2013
- 2) El cálculo de la demanda energética como herramienta de diseño, Josep Solé, Colegio de Aparejadores de Tarragona, 2002
- 3) Guide Isolation Laine du verre, Knaufinsulation, 2013
- 4) Soluciones de Aislamiento con Poliestireno extraído, AIPEX, 2011
- 5) Protección del clima con rápida amortización económica, EcoFys, 2013
- 6) Catalogo de Elementos Constructivos según el CTE, Isover, 2012
- 7) FTOC, Rigid and flexible foam assessment, FTOC, 2010
- 8) Guías de rehabilitación materiales aislantes, IDAE, 2010
- 9) Insulation for Environmental sustainability- A Guide, BING, 2013
- 10) Insulation thermique et acoustique en bâtiments et industrie, Knaufinsulation, 2013
- 11) Système d'isolation Jackodur Atlas, JackKodur, 2013
- 12) Guide isolation avec laine de roche et polystyrène expansé
- 13) Le Guide isolation Ursa, Ursa 2013
- 14) Libro blanco del PUR proyectado, IPUR 2012
- 15) Flachdach Gäfelledämmung, Kingspan, 2013
- 16) Manual de cubiertas, Danosa 2012
- 17) Manual de Cubierta invertida, Dow Building Solutions, 1998

11. TABLE DES MATIÈRES DES TABLEAUX ET FIGURES

Graphe 1.- Nouveau parc cumulé à partir de 2011	7
Figure 1.- L'approche d'élaboration du Règlement Thermique de Construction au Maroc	7
Graphe 2.- Consommation d'énergie finale par secteur dans le monde en 2010	9
Graphe 3.- Structure du potentiel d'efficacité énergétique dans la région de la méditerranée du sud sur la période 2010-2030	9
Graphe 4.- Structure de la consommation par secteur	10
Figure 2.- Zonage climatique du Maroc	13
Tableau 1.- Besoins spécifiques thermiques annuels maximaux de chauffage et de climatisation des bâtiments au Maroc	14
Figure 3.- Bâtiment à Marrakech	15
Figure 4.- Briques rouges en terre cuite	16
Figure 5.- Bloc creux, "parpaing béton creux" 20x20x50	16
Figure 6.- Dalle en béton	16
Figure 7.- Chantier de construction: Dalle porteuse en béton (l'étage supérieur en phase de coffrage)	16
Figure 8.- Projet de construction en chantier	17
Tableau 2.- Classement des catégories des logements par prix	18
Figure 9.- Bâtiment résidentiel collectif Moyen Standing	19
Figure 10.- Projet de logement social	19
Figure 11.- Appartements Haut Standing	19
Figure 12.- Hôpital Ibn Sina à Rabat	20
Figure 13.- Ecole HEEC à Rabat	20
Figure 14.- Parc Technologique Technopolis à Rabat	20
Figure 15.- Hôtel à Marrakech	20
Tableau 3.- Réglementation Thermique	21
Tableau 4.- Classification des types d'isolants par ressource	23
Figure 16.- Produit de laine minérale	23
Graphe 5.- Gammes typiques de valeurs de λ des divers matériaux de construction	25
Graphe 6: Gammes typiques de valeurs de λ des divers isolants thermiques	26
Graphe 7.- Valeurs de λ en fonction de la densité pour les mousses isolantes organiques	27
Figure 17.- Exemple d'étiquette de produit	29
Tableau 5.- Concept des valeurs thermiques « déclarées »	30
Figure 18.- Twin Center de Casablanca: Un complexe regroupant des commerces, des bureaux et un hôtel 5 étoiles	30

Tableau 6.- Epaisseurs minimales à appliquer en isolation de toitures plates avec du polystyrène extrudé (XPS), polystyrène expansé (EPS), polyuréthane projeté (PUR) et laine minérale (MW)	31
Figure 19.- Disposition typique de toiture inversée, avec pose de carrelage	33
Figure 20.- Toiture terrasse avec EPS	34
Figure 21.- Disposition d'une toiture-terrasse plate avec du Polyuréthane Projeté (PUR)	35
Tableau 7.- Epaisseurs minimales en isolation de toitures inclinées avec du polystyrène extrudé (XPS), polystyrène expansé (EPS), polyuréthane projeté (PUR) et laine minérale (MW)	37
Figure 22.- L'isolation avec de l'EPS en toiture inclinée	39
Figure 23.- Disposition des listons	40
Figure 24.- Mise en place des tuiles	40
Figure 25.- L'isolation avec du polyuréthane projeté en toiture inclinée	40
Figure 26.- Description du dispositif	41
Tableau 8.- Epaisseurs minimales en isolation des murs creux avec du polystyrène extrudé (XPS), polystyrène expansé (EPS), polyuréthane projeté (PUR) et laine minérale (MW)	42
Figure 27.- Mise en place des plaques de XPS dans la double cloison	43
Figure 28.- Mise en place de l'isolant dans la lame d'air de la double cloison	43
Figure 29.- Système de fixation	43
Figure 30.- Placement des plaques de l'EPS	44
Figure 31.- Soulèvement de la paroi intérieure	44
Figure 32.- Détail de mise en œuvre	44
Tableau 9.- Epaisseurs minimales en isolation des murs par l'extérieur avec le polystyrène extrudé (XPS), polystyrène expansé (EPS), polyuréthane projeté (PUR) et la laine minérale (MW)	46
Figure 33.- Murs isolés par l'extérieur avec XPS: Schéma de l'application	47
Figure 34.- Schéma de mise en place des plaques et des fixations	48
Figure 35.- Murs isolés par l'extérieur avec EPS: Détail de l'application	48
Figure 36.- Murs isolés par l'extérieur avec du polyuréthane projeté (PUR): Schéma de l'application	49
Figure 37.- Détail du mur isolé par l'extérieur avec MW	50
Tableau 10.- Epaisseurs minimales en isolation des murs par l'intérieur, avec le polystyrène extrudé (XPS), polystyrène expansé (EPS), polyuréthane projeté (PUR) et la laine minérale (MW)	51
Figure 38.- Isolation par l'intérieur avec du XPS et une plaque de plâtre	52
Figure 39.- Mise en place des plaques du polystyrène	52
Figure 40.- Paroi totalement isolée par l'intérieur avec EPS	52
Figure 41.- Réalisation des emplacements pour encastrer les câbles électriques	53

Figure 42.- Peltées pour l'adhésion des plaques de plâtre laminé	53
Figure 43.- Fixation de la plaque de plâtre et vérification de niveau	53
Figure 44.- Murs isolés par l'intérieur avec du polyuréthane projeté (PUR): Schéma de l'application	53
Figure 45.- Application de la mousse de PUR par l'intérieur	54
Tableau 11.- Epaisseurs minimales en isolation des sols avec le polystyrène extrudé (XPS), polystyrène expansé (EPS), polyuréthane projeté (PUR) et la laine minérale (MW)	55
Figure 46.- Plancher isolé avec XPS en attente du béton	56
Figure 47.- Schéma de l'isolation des sols avec EPS	56
Figure 48.- Panneaux isolants EPS	56
Figure 49.- Planchers isolés avec du polyuréthane projeté (PUR): Schéma de l'application	57
Figure 50.- Les conduits et les installations sont recouverts par la mousse	57
Figure 51.- Isolation du plancher avec du polyuréthane projeté (PUR)	58
Tableau 12.- Coefficient de transmission thermique des différents types de châssis, selon NM ISO 10077-1	60
Figure 52.- Double vitrage ou Unité de Vitrage Isolant (UVI): Epaisseurs de "verre-lame d'air-verre"	60
Figure 53.- Verre à faible émissivité: Epaisseurs de "verre-lame d'air-verre"	61
Tableau 13.- Coefficient de transmission thermique de la paroi vitrée (W/m ² .K)	61
Figure 54.- Fenêtre avec pré-cadre: Scellant correct	63
Figure 55.- Fenêtre avec pré-cadre: Scellant incorrect	63
Figure 56.- Protection Solaire	64
Figure 57.- Protection Solaire et châssis en PVC	64
Figure 58.- Plaque de polystyrène	65
Figure 59.- Plaque de polyisocyanurate PIR ALU-T, de conductivité thermique 0,0215 W/m.K	66
Figure 60.- Panneau en mousse phénolique pour isolation de plafonds	66
Figure 61.- Plaques de liège aggloméré et expansé (ICB)	68
Figure 62.- Laine de mouton	68
Figure 63.- Plaque en fibres de chanvre	69
Figure 64.- Carrelage isolant	71
Figure 65.- Pièce en EPS	71
Graphe 8.- Rapport entre le coût estimatif de l'application et la résistance thermique dans le cas des murs	75
Graphe 9.- Temps de retour pour le consommateur final, selon la zone et la catégorie d'habitat	76
Graphe 10.- Gain en énergie primaire selon la zone climatique	77
Tableau 14.- Impact sur l'investissement et l'emploi	78
Graphe 11.- Impact sur l'investissement et l'emploi	78



Jiha Tinou, l'une des 100 meilleures innovations africaines pour le Développement Durable

ADEREE
Agence Nationale pour le Développement des Energies Renouvelables et de l'Efficacité Énergétique



**Best MENA ENERGY
Company of the year 2013**

Créée en 2011, dans le cadre de la stratégie énergétique du Maroc, l'ADEREE est une institution publique intervenant sur l'ensemble de la chaîne de valeur du développement du secteur des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique. Force de proposition auprès des autorités en matière de lois et de normes relatives au secteur, concepteur et pilote de programmes sectoriels intégrés, l'ADEREE est classée parmi les 39 établissements publics stratégiques du Royaume.

Elle joue un rôle catalyseur dans le développement énergétique durable du Maroc et du continent africain, en assurant la promotion de la coopération sud-sud par un accompagnement d'aide à la décision de gouvernements africains, et par la dynamisation des collectivités territoriales à travers l'accompagnement de décideurs locaux dans le développement énergétique durable de leurs territoires.

En 2013, l'ADEREE gère plus de 300 millions de dirhams d'actif et 58 partenariats nationaux et internationaux, dédie aux ministères 5000 jours/homme d'accompagnement, propose 125 mesures d'efficacité énergétique, forme plus de 200 professionnels, accompagne 300 investisseurs, et sensibilise trois millions de marocains.



www.aderee.ma



*Au service
des peuples
et des nations*