

La Toiture :

Terrasse & Couverture

chargée de la matière :

Dr. SRITI Leila

Matière : Construction2

Licence 2: Architecture

Département d'architecture,
Université Mohamed KHIDER

1. Définitions, Fonction

La **toiture** est l'ensemble des éléments porteurs et de protection destinés à former la **fermeture supérieure de l'édifice**; elle peut être **inclinée** ou **horizontale**.

Toute construction trouve son achèvement, son couronnement, dans la toiture qui la **protège** des intempéries ou du soleil, comme elle protège aussi les occupants.

Son **expression extérieure** façonne l'environnement, en accord ou en opposition avec le site. C'est fréquemment une **cinquième façade** qui affirme la fin du bâtiment. Elle limite aussi l'espace intérieur.

1. 1. Terminologie & Définitions

- TOITURE, TOIT (DICOBAT) :

Ensemble des éléments qui composent le couvrement et la couverture d'un bâtiment, comprenant à la fois les matériaux de couverture proprement dits (ardoises, tuiles, zinc...) et leurs supports (chevrons, lattes, liteaux, panneaux de sous-toiture). Par déformation, la notion de toiture comprend parfois aussi le volume des combles, leur charpente, les lucarnes, les verrières, etc.

- COUVERTURE (DICOBAT) :

Ensemble des ouvrages et matériaux de revêtement qui assurent le "couvert" d'un édifice. La couverture, partie extérieure du toit, ne participe pas à la stabilité des ouvrages, mais doit protéger de façon étanche et durable les superstructures d'un édifice contre les intempéries.

- AVANT-TOIT:

Partie constitutive de la toiture qui a pour but de protéger la façade contre la pluie chassée par le vent qui se dépose sous forme de gouttelettes ou d'un film d'eau mis en mouvement. Sur une façade non protégée, l'eau ascendante finit par atteindre le bord du toit et risque de pénétrer dans la construction.

- TOITURE-TERRASSE ou TOITURE PLATE:

Toiture et/ou terrasse dont la pente est inférieure à 15 % (au dessus, c'est une toiture inclinée). Comme leur nom l'indique, les toitures-terrasses sont des ouvrages d'allure sensiblement horizontale qui doivent satisfaire les fonctions de couverture (étanchéité à l'eau et à l'air, isolation thermique) et de plancher-terrasse (rôle porteur, protection des usagers, isolation phonique).

2. Toiture-Terrasses :

Aperçu historique

Le développement des toitures-terrasses s'accélère au 19^{ème} Siècle, en particulier avec la mise au point de nouveaux matériaux comme les ciments et bétons.

Au 20^{ème} Siècle, Le Corbusier (1887-1965) déclarait dès 1927 à propos des "toits-terrasses" : "au lieu de perdre son terrain en y construisant sa maison, on le double". Auteur d'une "théorie du toit jardin.

Depuis les années 70, les nouvelles conceptions architecturales comme les nouvelles techniques l'étanchéité ont permis à la toiture-terrasse de retrouver une image positive synonyme de qualité de vie.



la Villa Savoye (1928-31) à Poissy –
Architecte : Le Corbusier

2.1. Toiture-Terrasses : Typologie

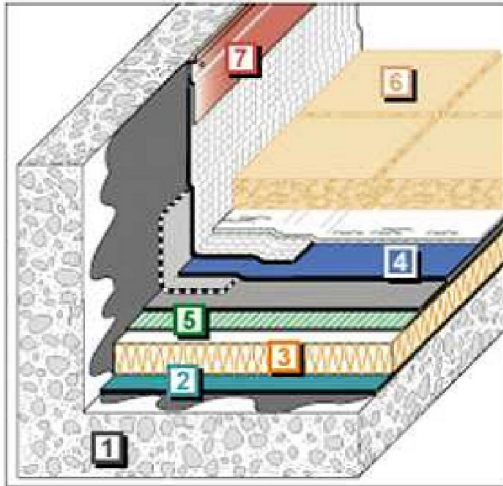
LES TERRASSES SONT DITES :

- Soit **inaccessibles** (sauf pour entretien et réparations exceptionnelles),
- Soit **à zones techniques** (toitures-terrasses à circulation piétonnière fréquente pour l'entretien d'éléments en émergence tels que machineries d'ascenseur),
- Soit **accessibles** (aux piétons), sans limitation particulière,
- Soit **circulables** (circulation et stationnement de véhicules),
- Soit **toitures-jardins**, toitures-terrasses recouvertes de terre végétale et de plantations.

ON DISTINGUE LES TOITURES-TERRASSES :

- A pente nulle : pente du support d'étanchéité inférieure à 1%,
- Plates : pente de 1 à 5% dans le cas général, ou 1 à 3% si le support est la tôle d'acier nervurée,
- Rampantes : pente de 5 à 15% dans le cas général.

2.2 LES ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS D'UNE TOITURE-TERRASSE



- 1** Élément porteur
- 2** Ecran pare-vapeur
- 3** Isolant thermique
- 4** Revêtement d'étanchéité
- 5** Ecran d'indépendance
- 6** Protection du revêtement
- 7** Accessoires

En partie courante, une toiture-terrasse se compose des éléments suivants :

- un élément porteur résistant : le plancher;
- une forme éventuelle, parfois "forme de pente";
- une isolation thermique avec ou sans pare-vapeur;
- un revêtement d'étanchéité;
- une protection de l'étanchéité.

2.3. Terminologie

- * **ÉTANCHEITE**: C'est l'ensemble des procédés qui rendent un ouvrage imperméable à l'eau provenant de l'extérieur et séjournant à son contact. Par extension, le terme désigne le revêtement d'étanchéité.
- * **REVÈTEMENT D'ÉTANCHEITE**: Ensemble des matériaux utilisés pour réaliser cette étanchéité.
- * **SUPPORT** (de l'étanchéité): Élément sur lequel est appliqué directement le revêtement d'étanchéité
- * **ELEMENT PORTEUR**: Partie supérieure résistante du gros-oeuvre qui constitue ou sur lequel repose le support d revêtement.
- * **STRUCTURE PORTEUSE**: Élément résistant du gros-oeuvre supportant l'élément porteur
- * **TOITURES**: Ouvrages destinés à couvrir des bâtiments
- * **TOITURES TERRASSES**: Ouvrages d'allure horizontale destinés à couvrir des bâtiments.
- * **ECRAN PARE-VAPEUR**: Il protège un isolant de la vapeur d'eau migrant de l'intérieur du bâtiment vers l'extérieur
- * **COUCHE DE DIFFUSION**: Elle répartit la pression de la vapeur d'eau qui pourrait se trouver sous l'isolant si la température s'élève.
- * **ISOLATION THERMIQUE**: Elle peut être constituée d'une ou de plusieurs couches de produits isolants.
- * **COUCHE D'INDEPENDANCE**: Couche d'indépendance, destinée à éviter l'adhérence du revêtement sur son support.
- * **COUCHE DE DESOLIDARISATION**: Couche de désolidarisation, destinée à éviter l'adhérence de la protection lourde au revêtement d'étanchéité.
- * **PROTECTION** (du revêtement d'étanchéité): Ensemble des matériaux placés au-dessus de l'étanchéité pour la protéger des effets de la circulation ou du stationnement des personnes ou des véhicules et de l'action des divers agents atmosphériques (air, froid, chaleur, gel, etc.,)
 - Il y a deux types de protection:
 - 1/ La protection "rapportée" pour laquelle on utilise des matériaux soit meubles (granulats libres), soit dur (matériaux agglomérés, dalles ou carreaux, asphalte gravillonné coulé sur asphalte pur +asphalte sablé).
 - 2/ L'autoprotection" (métallique ou à base de granulés minéraux). Elle est collée en usine sur le matériau d'étanchéité.

2.3. Terminologie

* TRAVAUX ANNEXES

- Relevés, reliefs, acrotères, costières, seuils, ressauts.
- Pénétrations diverses: souches, socles de lampadaires, pieds de garde-corps, bouches d'incendie ou d'arrosage, ventilations, lanterneaux, passages de câbles d'antennes, socles d'antennes TV ou de capteurs solaires, supports d'extracteurs VMC, etc.
- Intersections de versants: chéneaux, caniveaux, "noues" de rives ou centrales.
 - Joints de dilatation.
- Costières métalliques pour relevés, bandes de rive ou d'égout pour retombées.
- Solins de protection.
- Platines à moignons d'évacuation des eaux pluviales, garde-grèves, crapaudines.
- Trop-pleins
- Chéneaux, noues, rives, faitages et arêtiers, égouts.
- Dispositifs d'éclairage, de ventilation, de désenfumage ou de passage: lanterneaux, verrières, etc.
- Dispositifs de sécurité (à étancher) pour les travaux d'entretien: arrimages, crochets, rails pour nacelles de laveurs de façade

3. Classification

La conception d'une toiture dans son ensemble et par conséquent le choix de son revêtement d'étanchéité et du système de pose correspondant se définissent, bien sûr, en fonction des différents éléments constitutifs de l'ouvrage mais aussi d'un certain nombre de paramètres qu'il convient de bien examiner...

Questions préalables à se poser obligatoirement...

Nature de l'environnement **climatique**

Destination de la toiture

Nature de l'**élément porteur**

Pente de cet élément

Résistance **au feu** de la toiture

Isolation thermique et acoustique

Nature du **système d'étanchéité**

Mode de **pose** de l'étanchéité

Type de **protection** de l'étanchéité

Par exemple

Climat de plaine

Inaccessible

Support maçonnerie

1%

Classement M3

$K = 0.41$ et $D_n = 40$ Db(A)

Bicouche élastomère

Semi indépendance

Autoprotection métallique

II.1 Classification en fonction de l'environnement climatique (altitude et vent)

Les toitures sous climat de plaine: situées à une altitude ≤ 900 m

Les toitures sous climat de montagne: situées à une altitude > 900 m

Les régions de vent

II.2 Classification selon la destination de la toiture (suivant son accessibilité):

Les toitures-terrasses sont classées en:

- Toitures-terrasses inaccessibles ou non circulables (accessible pour entretien);
- Toitures-terrasses accessibles ou circulables piétonnes privées ou publiques;
- Toitures-terrasses circulables ou parking pour véhicules;
- Toitures-terrasses jardin;

3. Classification

II.3 Classification selon la constitution de l'élément porteur

II.3.1 En fonction du matériau

L'élément porteur peut-être constitué par:

- Un plancher en maçonnerie ou béton armé
- Des lames de parquet de 23 mm
- Des planches jointives de 18 et 25mm
- Des plaques de contreplaqué de 10 à 22mm
- Des panneaux de particules agglomérées
- Des tôles nervurées
- Des panneaux isolants porteurs

2° Destination de la toiture:	3° Elément porteur admis			
	Maçonnerie	Béton cellulaire autoclavé	Bacs aciers	Bois et assimilés
INACCESSIBLE a	1	2	3	4
TECHNIQUE b	OUI	OUI	OUI	OUI
ACCESSIBLE c	OUI	OUI	OUI	OUI
PARKING d	OUI	NON	NON	NON
JARDIN e	OUI	NON	NON	NON

II.3.2 Types des terrasses en maçonnerie ou béton armé

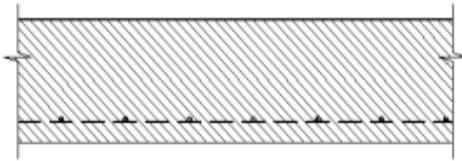
La possibilité et les conditions de pose d'un revêtement d'étanchéité sur un support sont directement dépendantes de l'état de surface de ce support du point de vue, d'une part de sa planéité, d'autre part de l'ouverture (apparition ou variation d'ouverture) de fissures éventuelles.

Les éléments porteurs en fonction de leur susceptibilité croissante à la fissuration sont classés en quatre types définis ci-après.

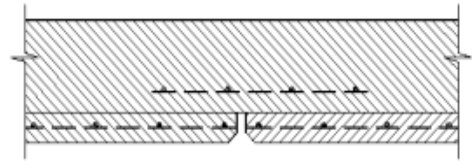
La présence éventuelle de joints dans le gros oeuvre (joints de dilatation et de retrait), par ailleurs nécessaires à la conservation de l'ouvrage, ne modifie en rien cette classification.

3. Classification

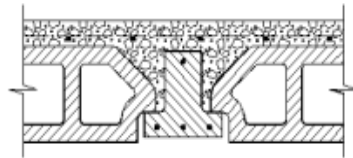
TYPE A : Élément porteur dont au moins la partie supérieure de la section résistante est réalisée en béton armé coulé en oeuvre de façon continue sur l'ensemble de la surface.



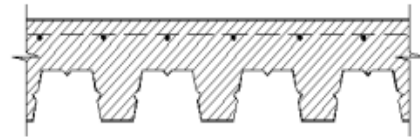
Les dalles pleines coulées en oeuvre



Les dalles confectionnées à partir de prédalles

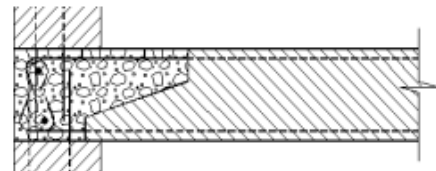
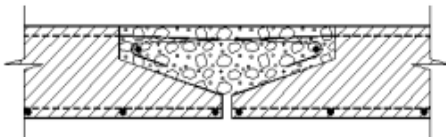


Les planchers à poutrelles, entrevous de coffrage et dalle de répartition complète coulée en oeuvre

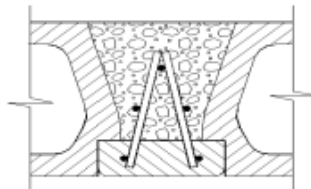


Les planchers à bacs métalliques collaborants

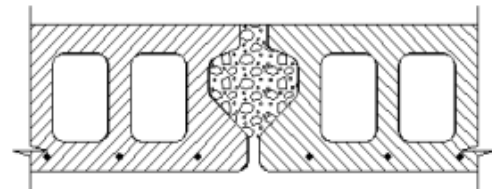
TYPE B : Élément porteur constitué d'éléments préfabriqués en béton armé ou précontraint posés jointifs, solidarisés par des armatures noyées dans un béton de liaison coulé en place.



TYPE C : Élément porteur constitué d'éléments préfabriqués jointifs, solidarisés par des blocages en béton réalisés in situ.



TYPE D : Élément porteur réalisé à partir d'éléments préfabriqués en béton armé ou précontraint posés jointifs et solidarisés par des clefs continues en béton.



3. Classification

II.4 Classification selon la pente de l'élément porteur

On distingue pour les supports maçonnés ou en béton:

- Les toitures à pente nulle (pente inférieure à 1%)
- Les toitures-terrasses plates (1% à 5% en tous points)
- Les toitures-terrasses rampantes (5% à 15%)
- Les toitures inclinées (=15%)

Classification des toitures en fonction de la pente et de la destination

Pente (%)	Type de toiture	Destination
0	Toiture à pente nulle (non admis en climat de montagne)	Toiture inaccessible (sauf pour l'entretien) Toiture technique ou zone technique Toiture accessible aux piétons avec dalles sur plots Toiture jardin
1 à 5	Toiture plate	Toiture inaccessible (sauf pour l'entretien) Toiture technique ou zone technique Toiture accessible aux piétons (circulation ou séjour) Toiture accessible aux véhicules VL ou PL (circulation - stationnement) Toiture jardin
>5	Toiture inclinée	Toiture inaccessible (sauf pour l'entretien) Rampes d'accès aux véhicules

Destination de la toiture	Protection du revêtement d'étanchéité	Pentes admises		
		Asphalte	Bitumes oxydés	Bitumes modifiés
INACCESSIBLE	gravillon	0 à 3%	0 à 5%	0 à 5%
	autoprotection	0 à 3%	≥ 5%	toutes pentes
TECHNIQUE	lourde	0 à 3%	0 à 5%	0 à 5%
	autoprotection	-	5 à 7%	0 à 7%
ACCESSIBLE	dalles sur plots	0 à 3%	0 à 5%	0 à 5%
	autres	1 à 3%	1 à 5%	1 à 5%
PARKING	conforme au DTU	1 à 3%	1 à 5%	1 à 5%
	enrobés à chaud	-	-	1 à 5%
JARDIN	conforme au DTU	0 à 3%	0 à 5%	0 à 5%
	drain direct	-	-	0 à 5%

3. Classification

II.6 Classification selon l'isolation thermique et acoustique

On distingue:

- les mousses plastiques: polystyrène, polyuréthane (Les dérivés phénoliques ne font plus l'objet d'ATEC)
- les matériaux minéraux: verre expansé, fibres minérales (uniquement laine de roche)
- les matériaux végétaux ou mixtes: panneaux de fibres, perlite expansée fibrée, liège expansé pur.

II.7 Classification selon la nature du revêtement d'étanchéité

Revêtements par asphalte coulé

Revêtements par bitumes armés

Revêtements par membranes à base de bitume modifié par polymères (Bitumes élastomères SBS - Bitumes APP)

Revêtements par membranes préfabriquées à base de polymères (Thermoplastiques: PVC, ECB, ...- Elastomériques EPDM, Butyl, ...)

Revêtements par résine appliquée in situ (Résines: polyester, polyuréthane, ...- Mousses polyuréthane projetée)

II.8 Classification selon le mode de pose:

Liaison au support:

- Pose en indépendance: pente de 0 à 5% (toujours sous lestage, sauf asphalte coulé)
- Pose en adhérence: pente $\geq 0\%$ (sur certains panneaux isolants seulement); rampes asphalte si pente $\leq 15\%$
- Pose en semi-indépendance: pente $\geq 0\%$ (d° ci-dessus mais obligatoire si pente $\geq 5\%$)

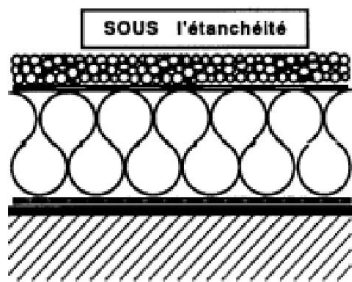
II.9 Classification selon la nature de la protection du revêtement d'étanchéité:

- Etanchéité sous gravillons pente: 0 à 5% (revêtement DTU ou Atec)
- Etanchéité sous protection dure pente: 1 à 5% (pente = 0% si dalles sur plots
pente $\leq 15\%$ pour les rampes)
- Etanchéité autoprotégée pente $\geq 0\%$ (revêtement Atec)
pente $\geq 5\%$ (revêtement DTU, sauf 43.3, $\geq 3\%$)

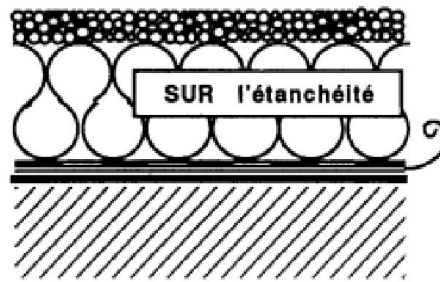
3. Classification

II.10 Classification selon la position de l'isolant

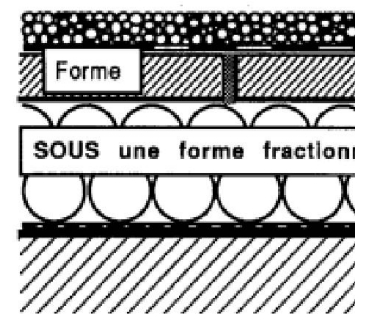
Isolant sous l'étanchéité
(solution la plus courante)



Isolant sur l'étanchéité
(Toiture Inversée)



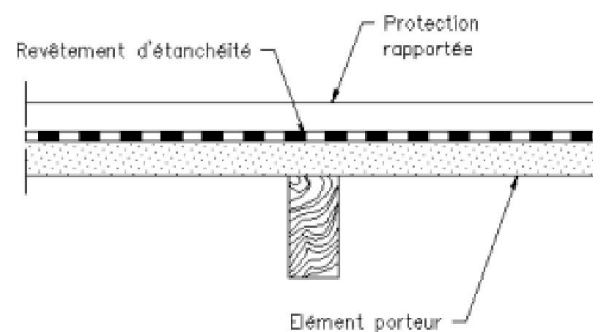
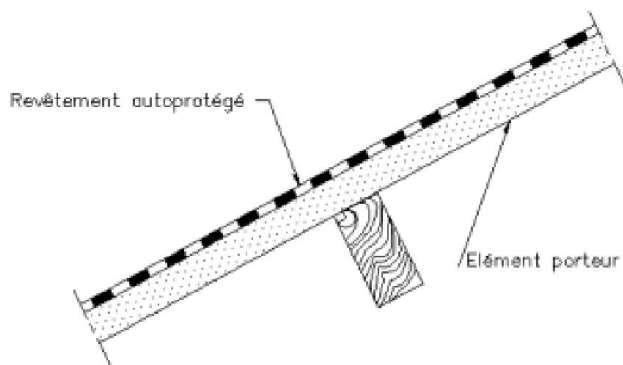
Isolant sous une forme fractionnée
(n'est plus guère utilisée)



II.11 Classification selon la ventilation du support d'étanchéité en bois

II.11.1 toiture chaude non isolée

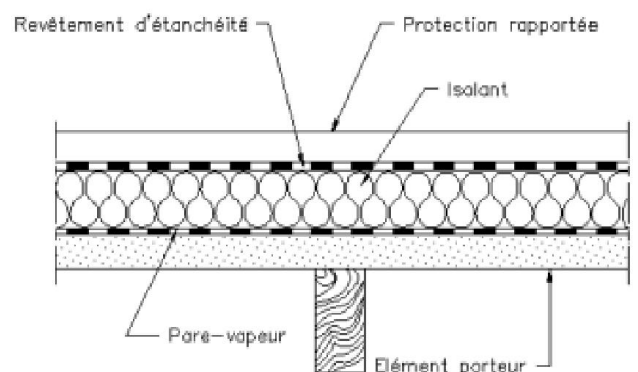
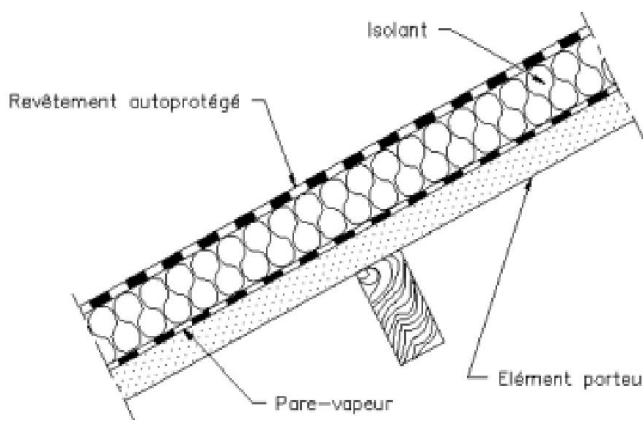
Elle est caractérisée par le fait que le bois ou les panneaux reçoivent un revêtement d'étanchéité et sa protection lourde ou autoprotection, l'ensemble constituant la séparation entre l'intérieur du bâtiment et l'extérieur.



3. Classification

II.11.2 toiture chaude isolée

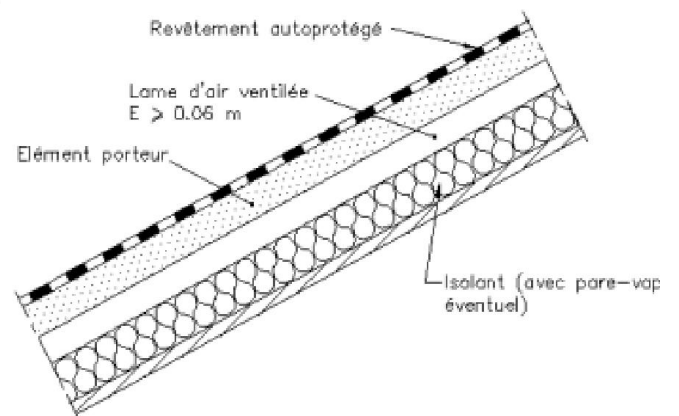
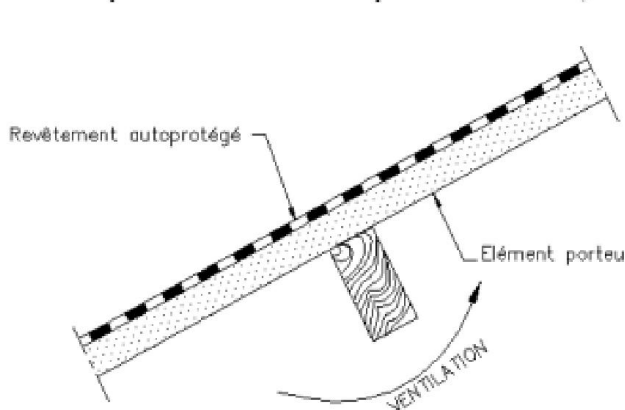
Elle est caractérisée par le fait que le bois ou les panneaux reçoivent un écran pare-vapeur, une isolation rapportée un revêtement d'étanchéité et sa protection lourde ou autoprotection, l'ensemble constituant la séparation entre l'intérieur du bâtiment et l'extérieur.



II.11.3 toiture froide ventilée (isolée ou non)

Elle est caractérisée par le fait que la sous-face de l'élément porteur comprend un espace ventilé communiquant avec l'air extérieur.

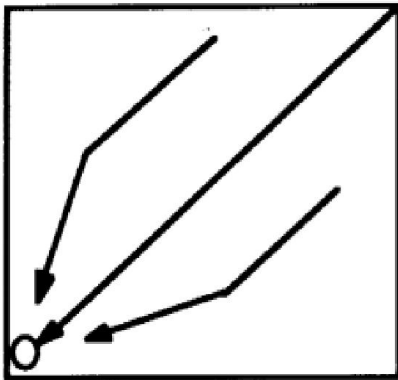
Lorsqu'une isolation thermique est recherchée, elle est placée sous la lame d'air ventilée.



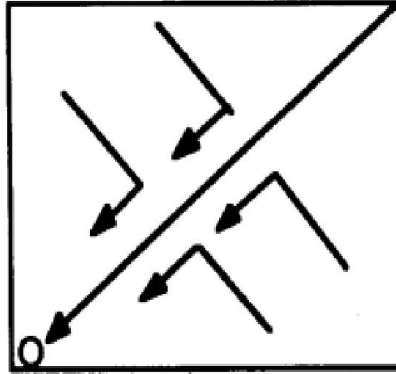
3. Classification

II.12 Classification selon la disposition des pentes

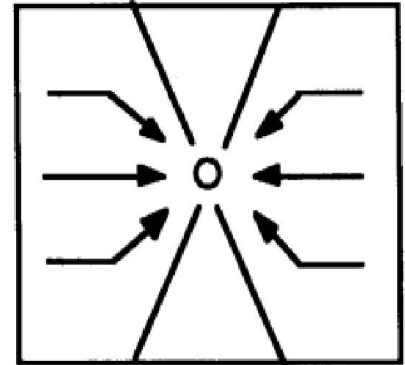
Les différentes dispositions des pentes et noues sont à déterminer en fonction des ouvrages émergents (voir plus loin)



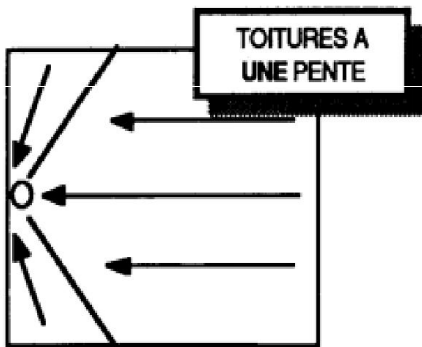
SANS BESACE



SANS BESACE



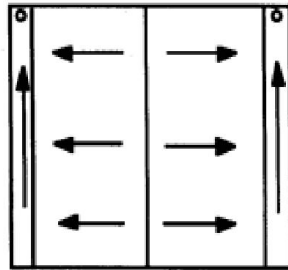
AVEC BESACES



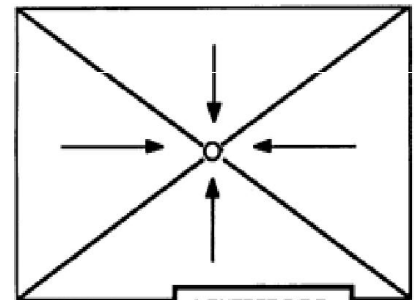
AVEC BESACES

TOITURES A UNE PENTE

TOITURES A DEUX PENTES

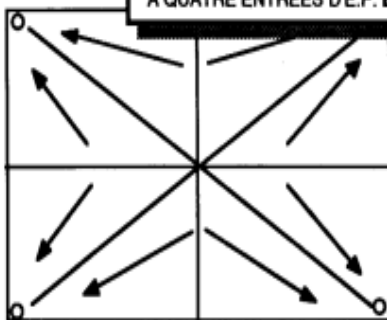


AVEC ENCAISSEMENTS

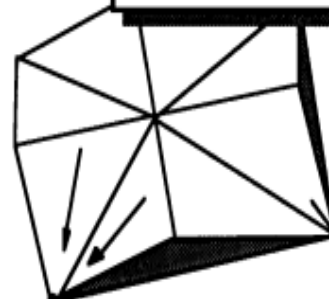


A ENTREE D'E.P. CENTRALE

EN POINTE DE DIAMANT A QUATRE ENTrees D'E.P. EN FACADE



TOITURES A QUATRE PENTES



4. Fonctions à remplir

a/ Par le **gros-oeuvre**:

- La stabilité sous les sollicitations provenant des charges appliquées ou des déformations imposées par les phénomènes thermiques, climatiques ou de retrait;
- Les exigences acoustiques.
- La stabilité au feu, parfois sécurité en cas de séisme.

b/ Par le **revêtement d'étanchéité** :

- L'imperméabilité à l'eau dans le temps (vieillesse sans altération)
- Résistance au poinçonnement (prévoir une protection adaptée à l'utilisation de la toiture).

c/ Par l'**ensemble de la toiture** :

- L'isolation thermique
- L'isolation phonique (acoustique)
- Permettre l'accès du personnel d'entretien, du public, parfois des plantations.
- La pérennité des fonctions et conservation de la qualité des ouvrages (durabilité.)

5. Fonctions à assurer

La toiture doit :

1. **protéger** le bâtiment des éléments naturels
 - (fonctions de contrôle du climat),
(fonctions de contrôle du climat),
2. **Séparer** l'environnement extérieure de l'espace intérieur.
 - (fonctions de contrôle de l'environnement),
3. **supporter** la circulation accidentelle ou permanente,
 - (fonctions structurale),
4. **Assurer** un rôle de 5eme façade
 - (fonctions de contrôle du climat),

Elle doit être:

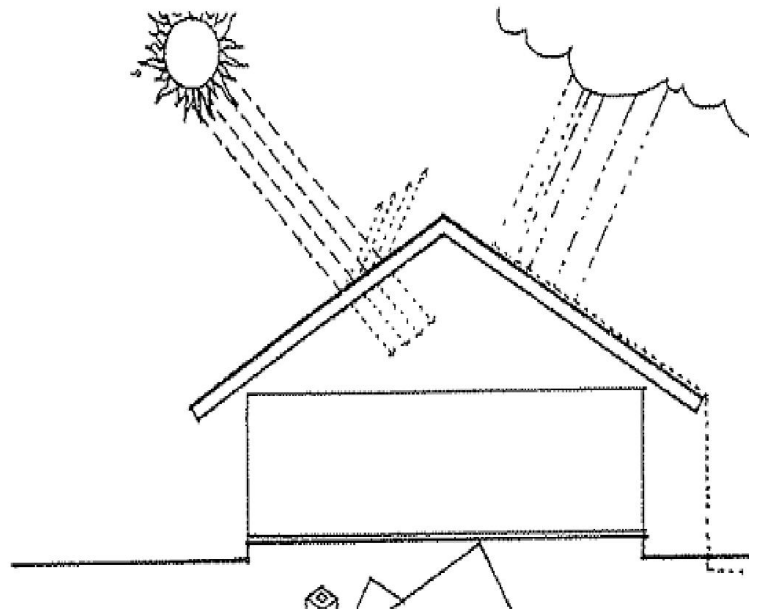
- isolante contre la chaleur et le froid.
- imperméable à l'eau résistante au gel (étanchéité),
- résistante à l'action mécanique (surcharge, vent, neige),
- durable, tant la couverture que le support,
- résistante au rayonnement solaire,
- résistante aux chocs (chaussures, mobilier éventuel),
- résistante à l'action chimique (pollution, etc.),
- calculée pour le retrait, la dilatation, le tassement.

5.1. Fonctions de contrôle du climat

(see 1.19)

roofing required for the roof slope:
tiles, sheet, or membrane. (see Chapter 8)

protection required against:
water from the outside
vapor diffusion from the inside
wind
and solar radiation



5.1.1 Protection thermique

L'**isolation thermique** des constructions et donc des toitures a pour objet d'y créer un climat intérieur confortable et d'éviter qu'elles subissent des dégâts. Pour que le toit offre ces deux types de protection, il faut:

- en **hiver**,

- qu'il soit muni d'une couche isolante présentant une résistance élevée au passage de la chaleur,
- qu'il présente une étanchéité à l'air élevée, aussi bien en pleine surface qu'au droit des joints,
- qu'il soit construit de manière à se comporter de façon correcte en face des phénomènes de diffusion;

- en **été**,

- qu'il soit construit de telle manière que son comportement thermique assure un décalage de phases prononcé et une atténuation sensible de l'amplitude des différences de température,
- qu'il comprenne des espaces de circulation d'air suffisants, placés au-dessus de la couche d'isolant thermique; ceci est possible pour les toits inclinés et nécessaire pour les toits plats.

- **toujours**,

- qu'il empêche la formation de condensation qui engendre souvent une humidité désagréable pour l'homme et dangereuse pour les matériaux;
- qu'il assure un rôle économique en réduisant l'importance de l'installation de chauffage, la consommation de combustible et les frais d'entretien.

Remarques concernant l'isolation thermique

Pour les toits, le coefficient **K** doit avoir une valeur respectivement de 0,4 et de 0,3 Wm² K, soit au moins une épaisseur de 10 cm, s'il s'agit de bâtiments à construire ou à transformer. Le principe de l'isolation thermique est que par leur texture poreuse, les matériaux isolants retiennent une couche d'air formant barrage à la perte de chaleur vers l'extérieur. Encore faut-il que des alvéoles soient protégées de la pénétration de l'humidité qui transformerait l'isolant en un conducteur thermique.

Des matériaux inorganiques (matière minérale et plastique), insensibles à l'humidité, résistants et durables et surtout neutres à l'égard des autres matériaux avec lesquels ils entrent en contact sont préférables.

L'isolation thermique des toitures plates chaudes est calculée essentiellement selon le matériau isolant; pour les toitures en pente, il faut tenir compte de la position de l'isolation. La valeur isolante ne dépend pas seulement du coefficient k des différentes couches; elle est diminuée par les joints, les ponts thermiques ou les passages de tuyauteries. Pour les toitures plates, l'isolation doit déborder les murs extérieurs ou remonter le long de l'acrotère pour éviter un pont thermique et des risques de dilatation.

5.1.2. Etanchiété

1/à l'eau

- Être étanche à l'eau et à la neige
- Évacuer les eaux de pluie et de fonte de neige
- Ne permettre qu'une condensation interne acceptable (quantité compatible avec les matériaux et pas de condensation résiduelle)

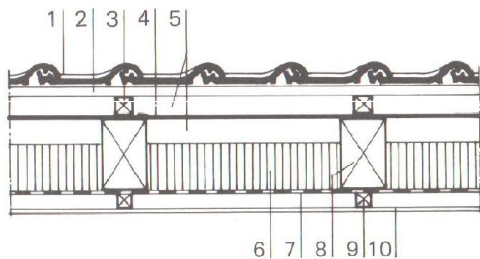
	<p>La zone d'étanchéité doit recueillir et évacuer toute l'eau vers le point le plus bas de la toit</p> <p>La membrane d'étanchéité doit avoir été correctement posée par un personnel qual suivant les prescriptions du fabricant et conformément aux agréments techniques.</p> <p>Les raccords doivent être conformes aux règles de l'art (voir [CSTC-94-2]), et les remont d'étanchéité doivent être suffisantes.</p>
	<p>La neige, en plus de son poids, ne peut s'infiltrer dans la zone d'étanchéité et, à sa fo l'eau doit être évacuée.</p>
	<p>Le gel de toute eau stagnante dans la zone d'étanchéité peut détruire la matière, le matéi ou les jonctions de ceux-ci. Il faut donc éviter toute stagnation d'eau et l'utilisation matériau gélif.</p>
ant de ars	<p>La connaissance du type de climat intérieur (au point de vue hygrothermique) est essenti pour la conception et le choix du type de toiture.</p> <p>Plus la pression de vapeur est grande à l'intérieur, plus l'étanchéité à la vapeur et à l'air complexe toiture devra être grande, mission impartie aux zones de finition et d'isola thermique.</p> <p>Le pare-vapeur doit être de qualité suffisante et il doit être continu.</p> <p>La toiture doit être étanche à l'air.</p>
de l'air argé de s la zone re	<p>Dans le cas d'une toiture froide, l'air extérieur peut circuler dans la zone de couverture. couverture ayant rayonné vers le firmament peut être plus froide que l'air extérieur, ce entraîne la formation de condensation sur sa face inférieure, voire dans sa masse. C'es phénomène de sur-refroidissement.</p>

Etanchiété

2/à l'air

- Être étanche à la pénétration de l'air de l'extérieur vers l'intérieur

Dans le cas d'une toiture en zinc non protégée en sous-face, le volume séparant le support de la toiture du dessus de la zone d'isolation thermique doit être ventilé. Toute ventilation suppose un air restant extérieur aux autres zones. La zone d'isolation thermique est le rempart à la pénétration de l'air extérieur ; dans le cas d'isolants thermiques étanches à l'air, les joints entre panneaux doivent être colmatés ; dans le cas d'isolants thermiques non étanches à l'air (laine minérale, par exemple), l'étanchéité à l'air extérieur doit être assurée soit par le pare-vapeur, soit par un panneau apposé à l'extérieur de l'isolation, ce panneau étant étanche à l'air et perméable à la vapeur d'eau.

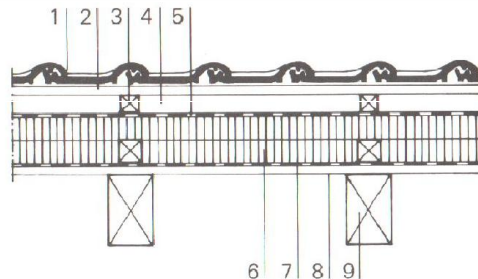


19.1

Coefficients k d'une toiture isolée.
Toiture à pans ventilés; chevrons non apparents;
isolation thermique entre chevrons.

Epaisseur isolant thermique cm	Intervalle entre chevrons		Coef. k de l'isolant seul W/m ² K
	50 cm	70 cm	
8	0,545	0,517	0,429
10	0,458	0,433	0,353
12	0,395	0,372	0,300
14	0,348	0,327	0,261
16	0,311	0,292	0,231

1. Couverture en tuiles.
2. Lattage.
3. Contre-lattage ou sous-lattage, ventilation.
4. Sous-couverture ou sous-toiture.
5. Vide de ventilation.
6. Isolation thermique.
7. Barrière de vapeur.
8. Chevron.
9. Lattage.
10. Faux plafond.



19.2

Coefficients k d'une toiture isolée.
Toiture à pans non ventilés; chevrons apparents;
isolation thermique sur chevrons.

Epaisseur isolant thermique cm	Intervalle entre chevrons		Coef. k de l'isolant seul W/m ² K
	50 cm	70 cm	
8	0,447	0,439	0,418
10	0,370	0,364	0,346
12	0,316	0,310	0,295
14	0,276	0,271	0,257
16	0,245	0,240	0,228

1. Couverture en tuiles.
2. Lattage.
3. Contre-lattage ou sous-lattage, ventilation.
4. Ventilation.
5. Sous-couverture ou sous-toiture.
6. Isolation thermique.
7. Barrière de vapeur.
8. Lambrissage.
9. Chevron.

5.2. Fonctions contrôle de l'environnement

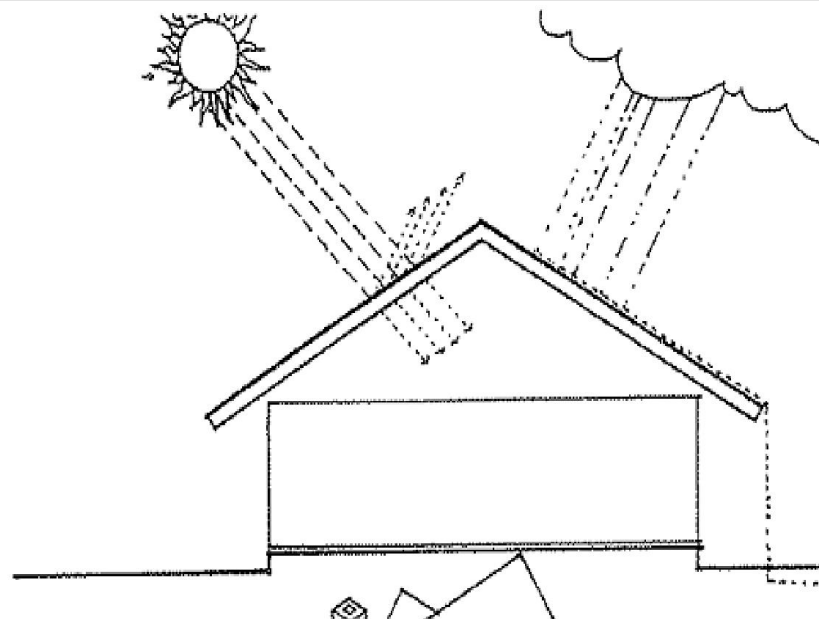
ance intérieure	Selon sa teinte et sa texture, le matériau de finition intérieure peut différemment réfléchir lumière à l'intérieur du local et participer ainsi à l'intensité lumineuse intérieure.
aérien	L'étanchéité à l'air, la masse de la zone de structure, de la laine minérale en zone d'isolation thermique, une différence de masse entre la zone de structure continue et la zone de finition ainsi qu'une désolidarisation entre ces deux zones, peuvent contribuer à isoler des bruits aériens extérieurs ou à éviter que des bruits aériens émis dans les locaux ne gênent l'environnement immédiat. La zone de finition combinée avec la zone d'équipement et une zone d'isolation thermique avec la laine minérale peut aider au contrôle de l'acoustique intérieure en limitant le temps de réverbération dans le local sous toiture.
d'impact eur	Une zone d'isolation thermique résiliente, limitant les contacts directs entre la zone de couverture et la zone de structure continue, contribue à limiter l'effet des chocs sur la toiture provenant de la pluie ou de la grêle. Les matériaux utilisés dans la zone de couverture exercent également une influence sur le bruit d'impact.
	Les ouvertures en toiture sont un des points faibles du bâtiment sous l'angle de l'exposition à l'effraction.
tance au feu	La toiture doit être une barrière au feu entre bâtiments proches ou parties d'un même bâtiment. Les toitures avec une zone de structure lourde en béton, ou une zone de structure légère combinée avec une zone de finition protectrice et étanche aux flammes, sont des solutions offrant une bonne résistance au feu.
ion au feu	La réaction au feu des matériaux (principalement en couverture et en plafond) est importante pour la sécurité, aux points de vue des émanations toxiques, des fumées, de la propagation de flammes, etc.

19/

required for the roof slope:
waterproofing, or membrane. (see Chapter 8)

isolation required against:
heat from the outside
heat from the inside

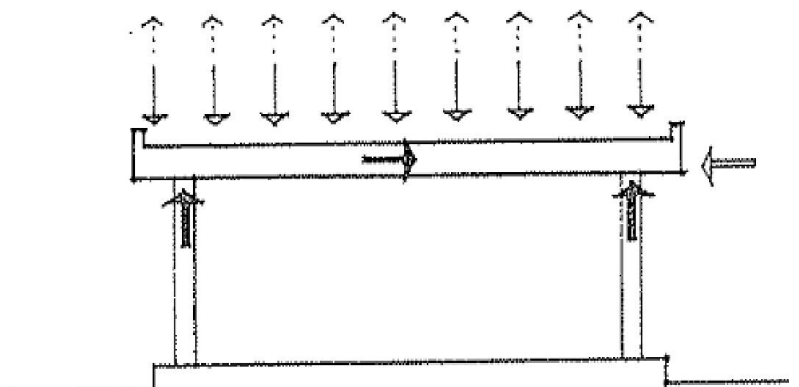
infrared radiation



5.3.Fonctions structurale

Charges permanentes	Poids propre des éléments, augmenté des charges qui, après leur mise en oeuvre, peuvent agir de façon permanente (par exemple, lestage de la membrane ou substrat de la toiture verte).
Charges d'exploitation	La structure est calculée en fonction du poids propre de la toiture, des charges d'entretien de la surcharge d'utilisation si la toiture est accessible, et des panneaux solaires éventuels (lestage compris). La toiture doit résister aux contraintes mécaniques au niveau de toutes les couches.
Neige	La surcharge de neige à prendre en compte dépend de l'altitude du site où est construit le bâtiment. Pour une altitude jusqu'à 100 m, elle est de 400 N/m ² ; au-delà, elle est de $80 \times [0,50 + 0,007 \times (\text{altitude} - 100)/2]$ en N/m ² (NBN EN 1991-1-3 Actions générales Charges de Neige (2003)) [IBN -13].
Vent	Les charges de vent à prendre en compte sont détaillées dans les normes de la série NBN EN 1991-1-4 "Actions sur les structures - Action du vent" [IBN -13]. Tant les pressions que les dépressions doivent être prises en compte. En ce qui concerne la toiture plate, les considérations de résistance au vent (notamment à la succion des matériaux extérieurs exposés) sont particulièrement importantes (voir annexe 2). La toiture doit être conçue de façon à ce que sa structure et ses couches de matériaux résistent aux pressions/dépressions induites par le vent. La protection éventuelle de l'étanchéité ne doit pas être emportée par le vent. L'adhérence ou la fixation de l'étanchéité à son support doit pouvoir résister à la succion du vent.
Sollicitations thermiques	En ce qui concerne les charges dues aux sollicitations thermiques, il y a lieu de prendre en compte une température de surface pouvant varier entre -10°C et +80°C en basse Belgique et entre -15°C et +80°C en haute Belgique. La membrane d'étanchéité doit résister aux érosions éoliennes et hydrauliques. La membrane d'étanchéité doit résister aux rayonnements ultraviolets (UV) ou être protégée contre ceux-ci ; elle doit également être adaptée pour résister à la pollution de l'environnement extérieur auquel elle est exposée.
	Lorsque certaines parties de la toiture peuvent former un réservoir d'eau, il y a lieu de tenir compte de cette charge au niveau du trop-plein afin de déterminer la capacité portante. Cette action ne doit pas être combinée avec celle des charges d'exploitation mentionnées ci-dessus, sauf si ces charges sont supérieures à la valeur prévue des charges d'exploitation.

must be designed to carry:
 roof structure, deck, insulation,
 roofing, and any equipment located
 on top of or suspended from roof
 accumulated rain, snow and ice,
 and traffic, if any
 pressure or suction from wind.



5.3. Fonctions visuelle

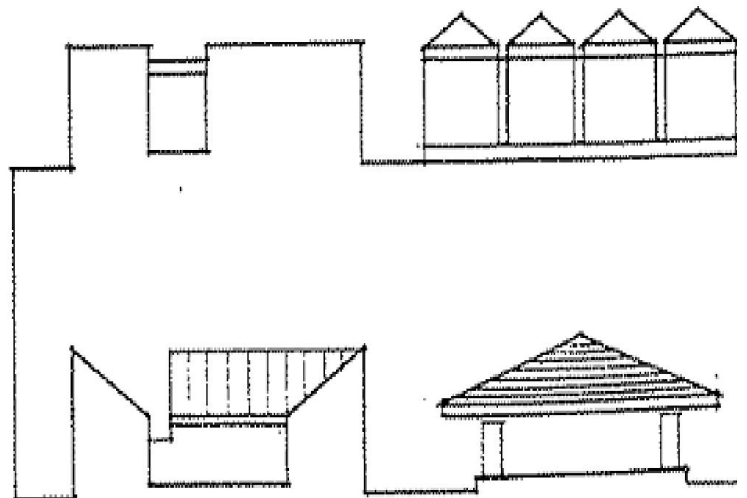
Mises à part les vues “aériennes”, les matériaux utilisés n’apportent guère de contribution à la composition esthétique de l’ensemble du bâtiment.

Toutefois, le souci de la “cinquième façade” apparaît avec le recours aux toitures-jardins, etc.

the roof form on the building:

*riped roof forms
multiple forms
conditions*

*placed behind a parapet
flush and flush with or overhanging
wall planes.*



La toiture comme 5^{ème} façade

Exple1: Musée Jean Cocteau - Menton

Architecte : Rudy Ricciotti



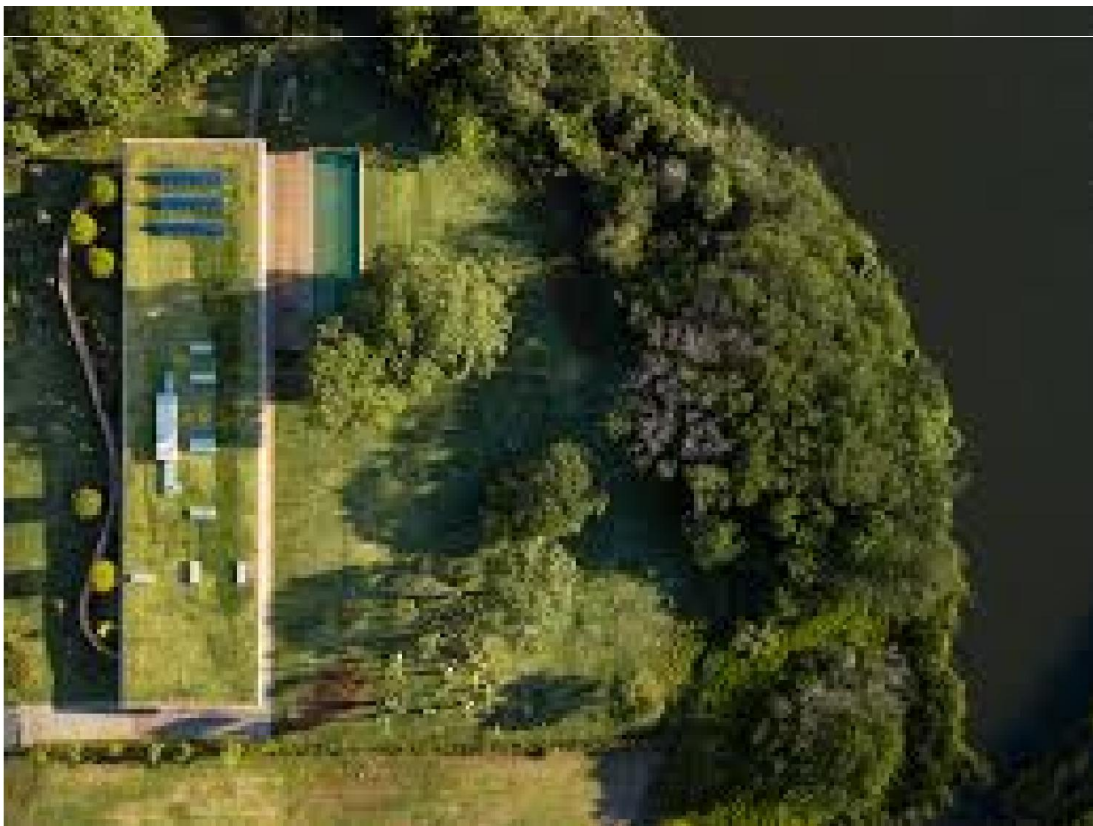
La toiture comme 5 ème façade

Exple1: Musée Jean Cocteau - Menton



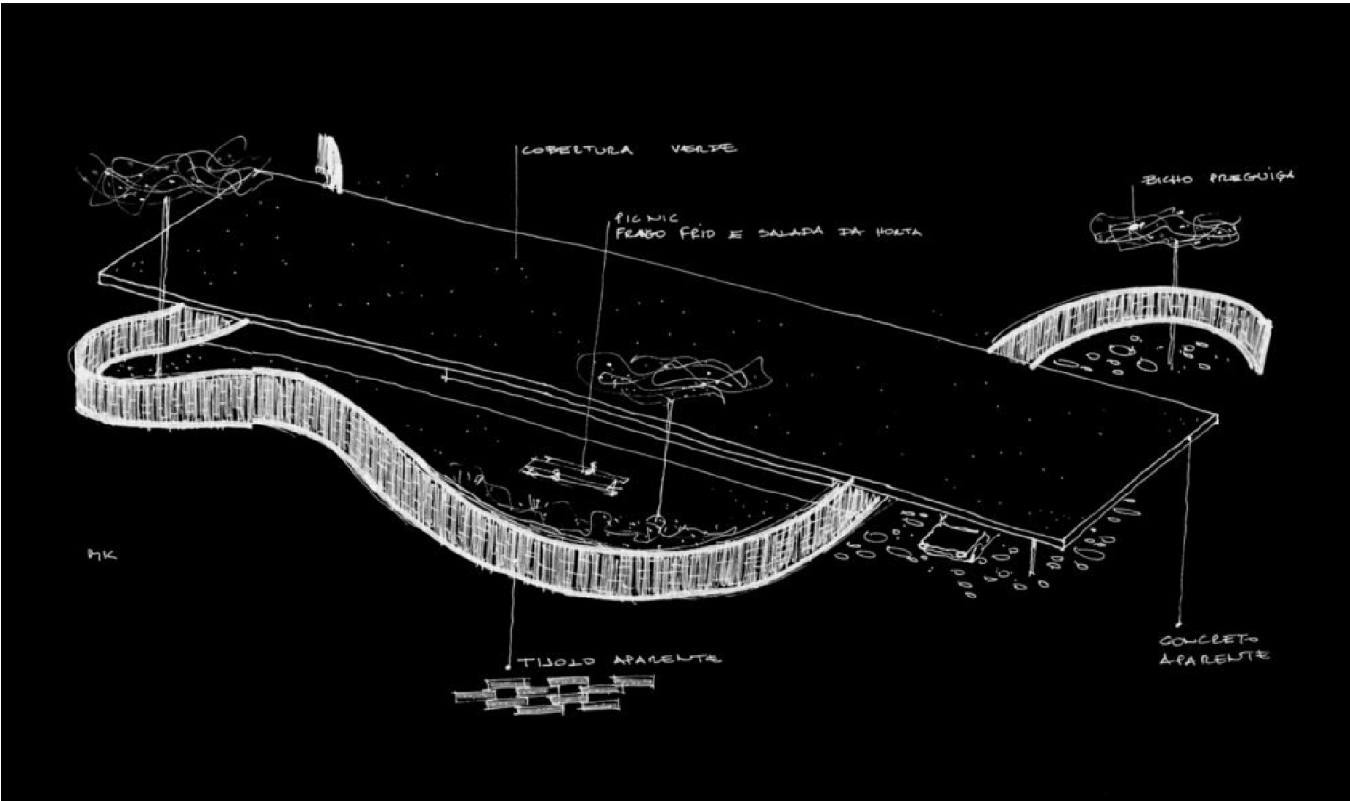
La toiture comme 5 ème façade

Exple2: planar-house-studio-mk27-architecture-brazil_



La toiture comme 5 ème façade

Exple2: planar-house-studio-mk27-architecture-brazil_



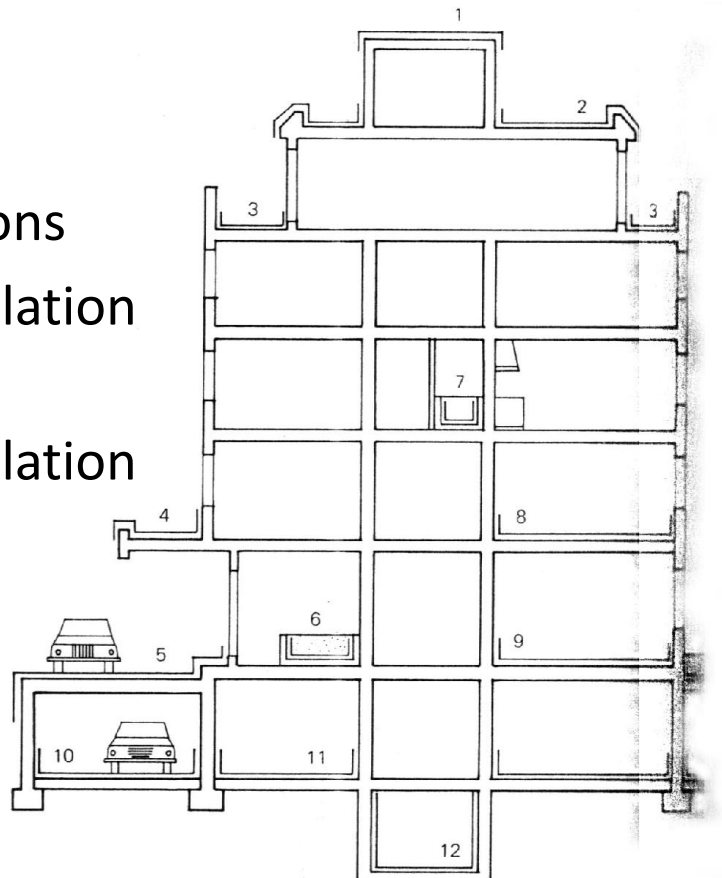
6. TYPOLOGIES DES TOITURES PLATES

Une **toiture plate** est une toiture dont l'inclinaison est inférieure à 15% (au dessus, c'est une toiture inclinée). Elle possède toujours une **pente d'au moins 2%** et se caractérise par une étanchéité souple

Par **étanchéité**, on entend la couche ou l'ensemble des couches rendant la construction étanche à l'eau de pluie, à la neige et à la fonte des neiges.

La toiture terrasse peut être :

- Techniques
- Accessibles aux piétons
- Accessibles à la circulation des véhicules légers
- Accessibles à la circulation des véhicules lourds
- Jardins



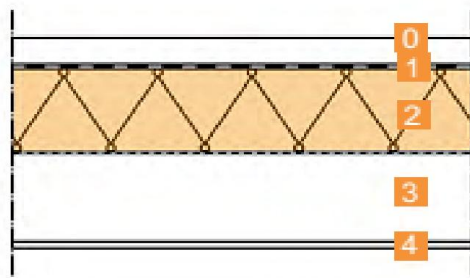
6. TYPOLOGIES DES TOITURES PLATES

Pour approcher les fonctions de la toiture plate, on différencie quatre systèmes possibles de toiture , en plus de **la toiture verte** qui est une toiture plate couverte de végétation.

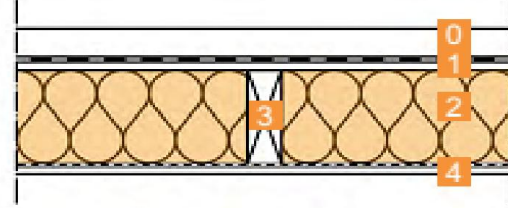
Les **quatre systèmes possibles** de toiture sont:

1. la **toiture chaude**, où la couche d'isolation thermique (elle-même protégée par l'étanchéité) protège la structure ;
2. la **toiture inversée**, où la couche d'isolation thermique placée extérieurement protège l'étanchéité ;
3. la **toiture combinée**, où une couche d'isolation thermique protège l'étanchéité et une autre, sous l'étanchéité, protège la structure ;
4. la **toiture froide**, comportant une lame d'air, ventilée par de l'air extérieur

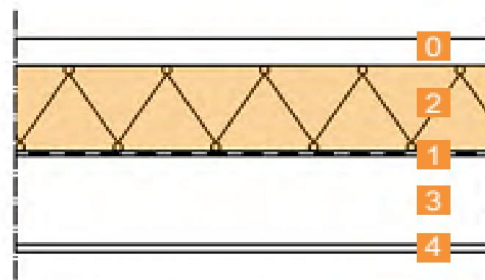
TOITURE CHAUDE



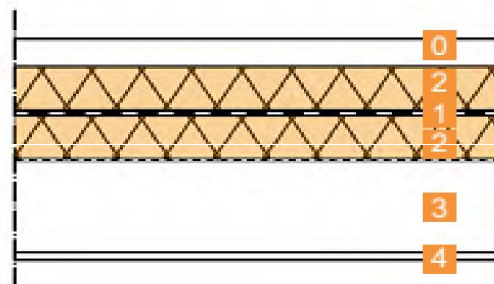
VARIANTE AVEC STRUCTURE BOIS



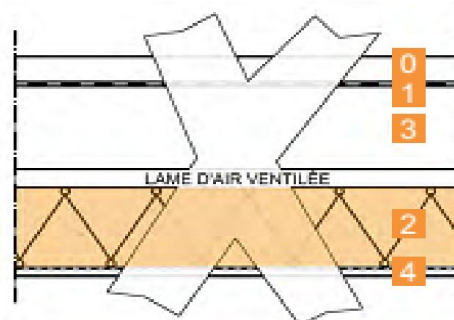
TOITURE INVERSÉE



TOITURE COMBINÉE OU 'DUO'



TOITURE FROIDE



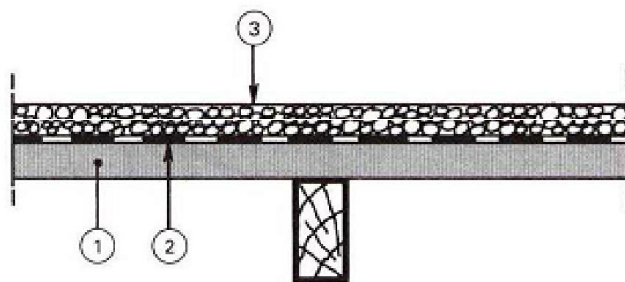
- 0** Zone de lestage + natte de protection éventuels
- 1** Zone d'étanchéité
- 2** Zone d'isolation + pare-vapeur éventuel
- 3** Support
- 4** Zone de finition + zone libre éventuelle pour équipement

6.1. La toiture chaude

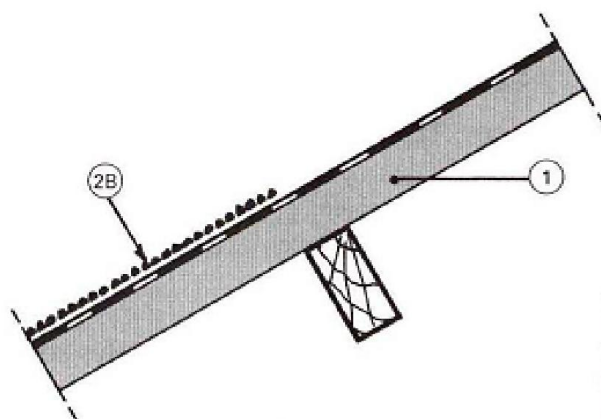
1 - DÉFINITION D'UNE TOITURE CHAUDE :

➤ La définition la plus courante d'une toiture « chaude » correspond à ce que l'élément porteur, soit à une température voisine de la température intérieure.

➤ Toiture chaude "massique" :
Dans ce cas, l'élément porteur est lui-même isolant.



1^{er} cas : toiture pente ≤ 5 %



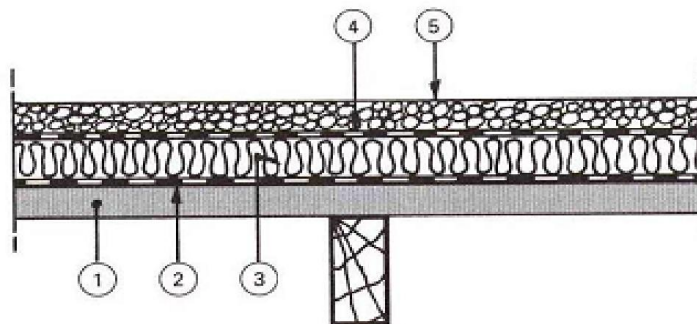
2^e cas : toiture pente > 5 %

- ① Élément porteur (bois par exemple)
- ② Revêtement d'étanchéité
- ②B Revêtement d'étanchéité autoprotégé
- ③ Protection rapportée

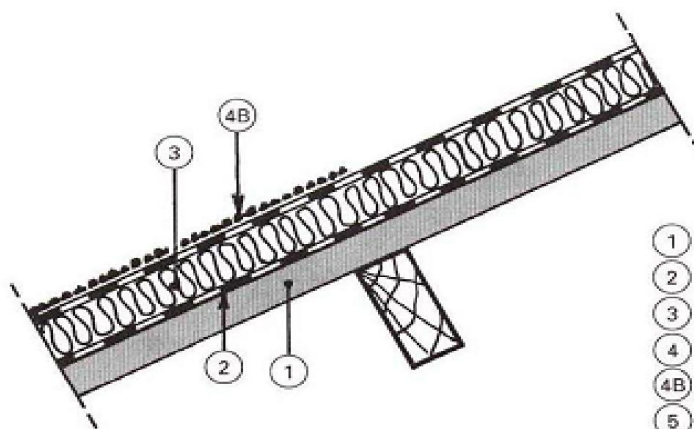
La toiture chaude

➤ Toiture chaude avec isolant :

Dans ce cas, un isolant vient directement se placer contre l'élément porteur, du côté extérieur.



1^{er} cas : toiture pente ≤ 5 %



2^e cas : toiture pente > 5 %

- ① Élément porteur
- ② Pare-vapeur
- ③ Isolant
- ④ Revêtement d'étanchéité
- ④B Revêtement d'étanchéité autoprotégé
- ⑤ Protection rapportée

La toiture chaude

2. Description

La toiture chaude désigne la toiture plate dont **l'isolant thermique est placé sur le support (élément porteur)** sans lame d'air entre les différentes couches.

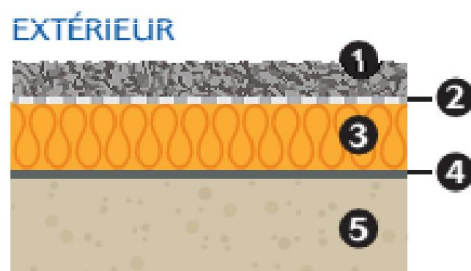
La membrane d'étanchéité est posée **sur l'isolation**, avec ou sans couche de désolidarisation selon les cas, et éventuellement lestée.

Dans la plupart des cas, un **écran pare-vapeur** performant doit être interposé entre le support et l'isolant, en respectant les conditions de mise en oeuvre.

Par toiture chaude, on comprend également les **toitures constituées d'éléments qui combinent les fonctions de plancher et d'isolation**, par exemple béton cellulaire, panneaux sandwiches, etc.

TOITURE CHAUDE : LA PRATIQUE COURANTE

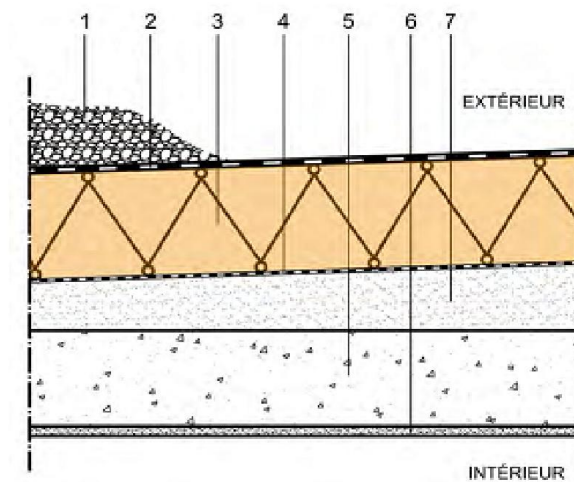
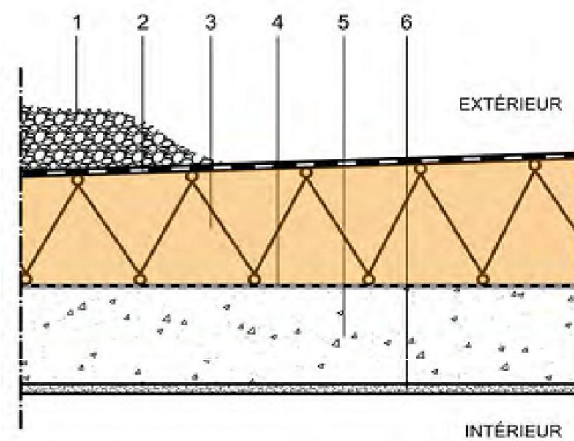
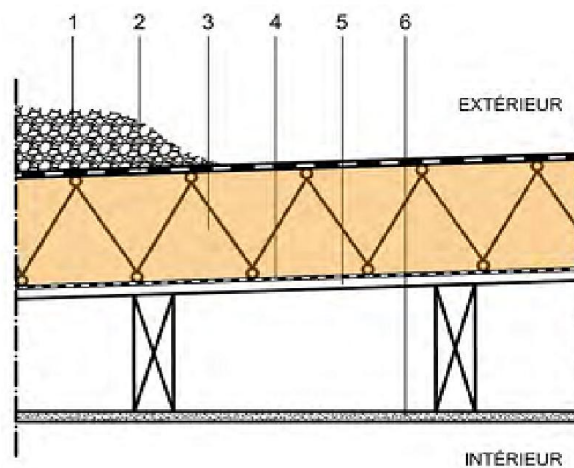
La toiture chaude (non ventilée) désigne une configuration où l'isolant est placé au-dessus de l'élément



- 1 Lestage (éventuel)
- 2 Membrane d'étanchéité
- 3 Isolant thermique
- 4 Pare-vapeur
- 5 Élément porteur

Fig. 1

- 1 : lestage éventuel
- 2 : membrane d'étanchéité
- 3 : isolant thermique
- 4 : pare-vapeur
- 5 : support
- 6 : plafond
- 7 : béton de pente



Remarque:

dans le 1^{er} cas, la pente est réalisée au moyen de cales de hauteurs différentes, tandis que dans le 2^e cas, c'est l'isolant thermique qui forme la pente. Dans le 3^e cas, la pente est réalisée par un béton de pente.

Avantages et Inconvénients

Avantages

- L'isolant thermique, protégé par le pare-vapeur et la membrane d'étanchéité, reste sec ; il conserve ainsi toutes ses caractéristiques thermiques.
- L'isolant thermique étant appliqué à l'extérieur de l'enveloppe du bâtiment, protège celle-ci des variations de température, et par conséquent, des dilatations et des contraintes thermiques, du gel et des condensations.
- Ce système d'isolation ne nécessite pas nécessairement de lestage, si l'isolant et la membrane peuvent être fixés mécaniquement ou par collage. Il est dans ce cas relativement léger et peut être appliqué sur des structures existantes qui ne supportent pas une augmentation de charge.
- Lorsque le local couvert est à usage permanent et que le support est de type lourd, ce système augmente l'inertie thermique du local et le rend plus confortable.
- Son entretien étant plus aisé que celui d'une toiture inversée (qui sera abordée ci-après), la toiture chaude est donc particulièrement conseillée lorsque l'environnement est fortement boisé.

Inconvénients

- Surtout lorsqu'elle n'est pas lestée, la membrane d'étanchéité est soumise à d'importantes variations de température car elle n'est pas protégée par l'isolant thermique.

6.2. La toiture inversée

Description

La toiture est dite “inversée” lorsque l’isolation thermique est posée sur l’étanchéité qui, de ce fait, joue le rôle d’écran pare-vapeur.

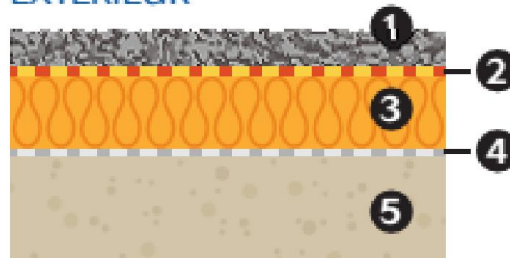
L’isolation thermique, quant à elle, protège l’étanchéité du refroidissement nocturne et des rayons ultraviolets.

Elle doit cependant être lestée par du gravier ou des dalles sur plots, le poids du lestage devant s’opposer au soulèvement ou à la flottaison des panneaux d’isolation thermique ; le lestage protège également les panneaux d’isolation des rayons ultraviolets.

TOITURE INVERSÉE : UNE PROTECTION POUR L’ÉTANCHÉITÉ

Cette solution est envisageable uniquement sur un élément porteur en

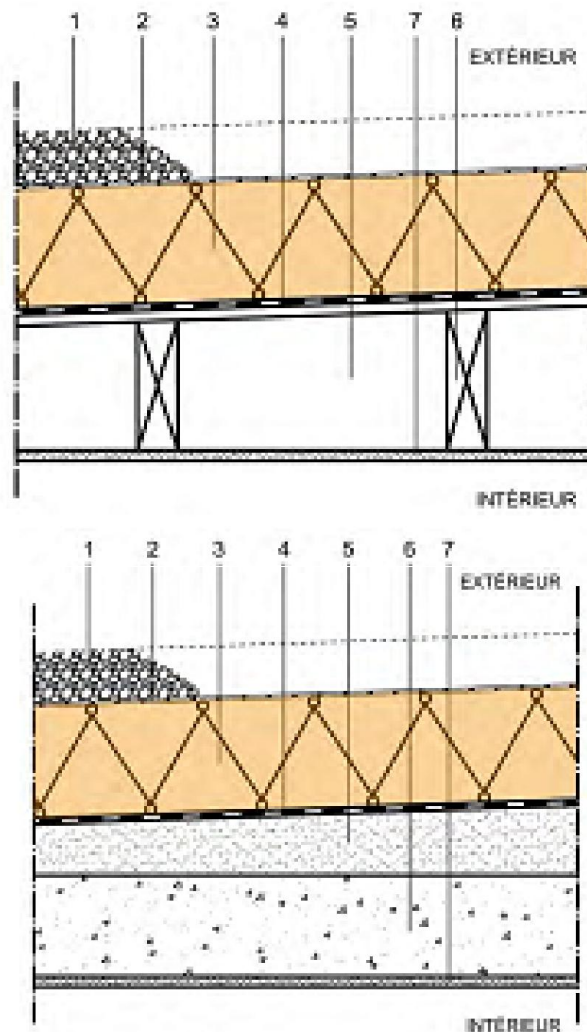
EXTÉRIEUR



- 1 Lestage
- 2 Natte de protection
- 3 Isolant thermique
- 4 Membrane d'étanchéité
- 5 Élément porteur

Fig. 2

La toiture inversée



- 1 : lestage éventuel
- 2 : membrane d'étanchéité
- 3 : isolant thermique
- 4 : pare-vapeur
- 5 : support
- 6 : plafond
- 7 : béton de pente

Avantages & Inconvénients

AVANTAGES

- Le plancher et l'étanchéité sont protégés contre les variations de températures et contre les influences climatiques (rayonnement solaire, rayonnement nocturne), ainsi que des chocs dus à la chute éventuelle d'objets.
- La toiture inversée est un type de toiture qui permet aisément de réaliser un renforcement a posteriori de l'isolation thermique, et cela même si la toiture comporte déjà une couche d'isolation thermique, devenant ainsi une toiture dite "duo", abordée ci-après.
- La toiture inversée ne nécessite pas d'écran pare-vapeur supplémentaire.

INCONVÉNIENTS

- Le matériau isolant (polystyrène extrudé XPS) disposé sur l'étanchéité, n'est pas protégé des précipitations :
 - exposé à l'humidité et même à l'action du gel, le matériau choisi doit présenter une absorption d'eau négligeable et ne pas être attaqué par l'eau superficielle (dégâts dus à la gelée, par exemple) ;
 - des pertes de chaleur supplémentaires sont dues à l'écoulement de l'eau entre l'isolant et l'étanchéité, au droit des joints entre plaques ou à l'état temporairement humide de l'isolant : l'Annexe 3 (au point 7.2.4) de l'AGW PEB du 15/12/16 [GW -16-2] détaille la procédure de correction du coefficient de transmission thermique (U) pour les toitures inversées.
- La continuité de l'isolation thermique entre la toiture et les parois verticales (relevés) n'est pas toujours aisée, voire parfois impossible.
- L'étanchéité est soumise, plus longtemps qu'une toiture chaude, à un taux d'humidité élevé qui, combiné à une température constante, peut entraîner le développement de micro-organismes.
- Si le support manque d'inertie thermique, il y a un risque d'apparition de condensation par le passage de l'eau (qui se réchauffe) sous l'isolation.

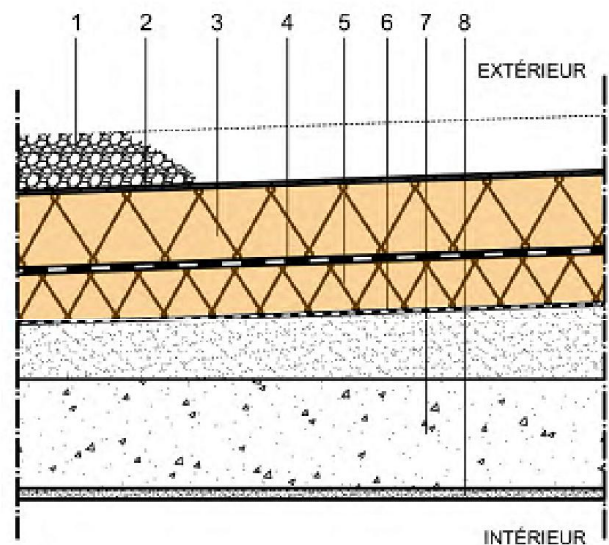
6.3. La toiture Combinée ou toiture Duo

Description

Lorsque l'on désire renforcer l'isolation thermique d'une toiture chaude existante, on peut déposer une couche d'isolation directement sur l'étanchéité, selon le principe de la toiture inversée.

L'isolation thermique de la toiture est ainsi réalisée en deux parties : l'une sous l'étanchéité et l'autre par dessus.

Ce type de toiture est une "combinaison" de toiture chaude et de toiture inversée : on l'appelle toiture "combinée" ou encore toiture "duo".



- 1 : lestage
- 2 : natte de protection
- 3 : isolant thermique 1
- 4 : membrane d'étanchéité
- 5 : isolant thermique 2
- 6 : pare-vapeur
- 7 : béton de pente et support
- 8 : plafond

Avantages & Inconvénients

Par sa combinaison de solutions, la toiture "combinée" ou "duo" peut utilement corriger les inconvénients d'une solution par les avantages de l'autre.

AVANTAGES

- En tant que toiture chaude, l'isolant thermique étant appliqué à l'extérieur de l'enveloppe du bâtiment, il protège celle-ci des variations de température et, par conséquent, des dilatations et des contraintes thermiques, du gel et des condensations.
- En tant que toiture inversée, la membrane d'étanchéité et la structure sont protégées des variations climatiques et des chocs dus à la chute éventuelle d'objets.

INCONVÉNIENTS

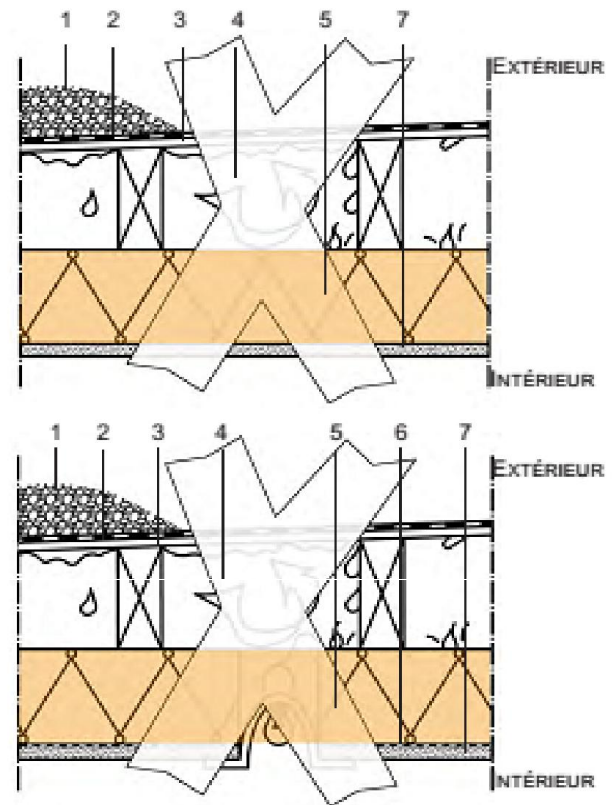
- La membrane d'étanchéité se retrouve entre deux couches d'isolation thermique : si le pare-vapeur n'est pas performant, elle peut entraîner un ralentissement du flux de vapeur et, par là, la formation éventuelle de condensation interne.
Tout apport d'isolant thermique est favorable mais, si on veut supprimer tout risque de condensation, la résistance thermique de l'isolation apposée sur l'étanchéité doit, en première approche, être au moins le double de celle située en dessous. Si une telle surépaisseur n'est pas réalisable, une vérification de la diffusion de vapeur d'eau doit être simulée.
- Ce système n'est conseillé que lorsque des couches d'isolation très épaisses sont nécessaires.
- Ce système permet de réduire le risque d'apparition de condensation par le passage de l'eau sous l'isolant thermique.

6.4. La toiture froide

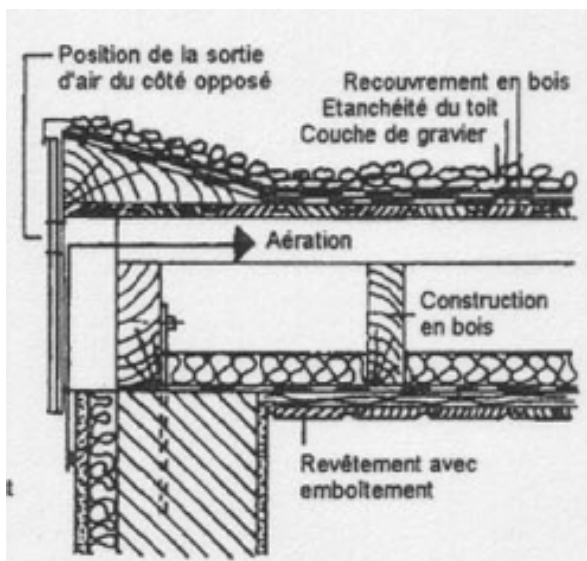
2. Description

La toiture froide est une toiture plate dont l'isolant thermique est séparé du support de l'étanchéité par une lame d'air ventilée au moyen de l'air extérieur.

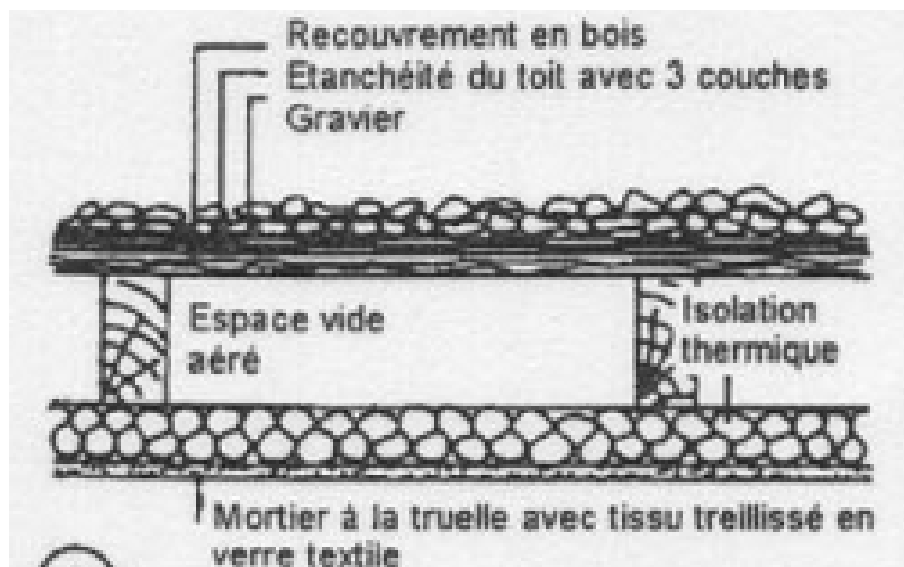
Ce système est aujourd'hui à proscrire (éviter). Les toitures neuves réalisées suivant ce principe sont considérées de conception incorrecte.



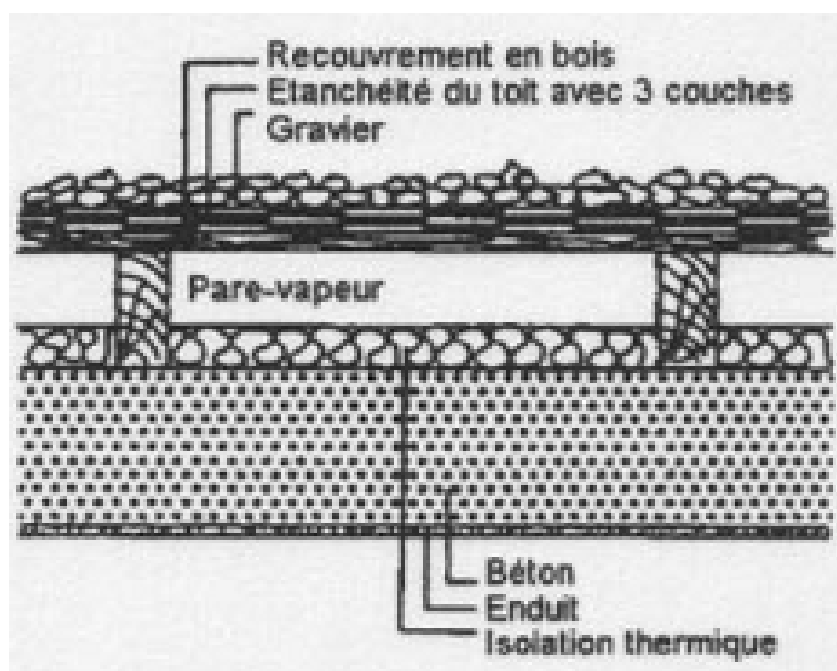
- 1 : lestage éventuel
- 2 : membrane d'étanchéité
- 3 : support
- 4 : lame d'air ventilée
- 5 : isolant thermique
- 6 : pare-vapeur déficient
- 7 : plafond



Toiture froide construction en bois



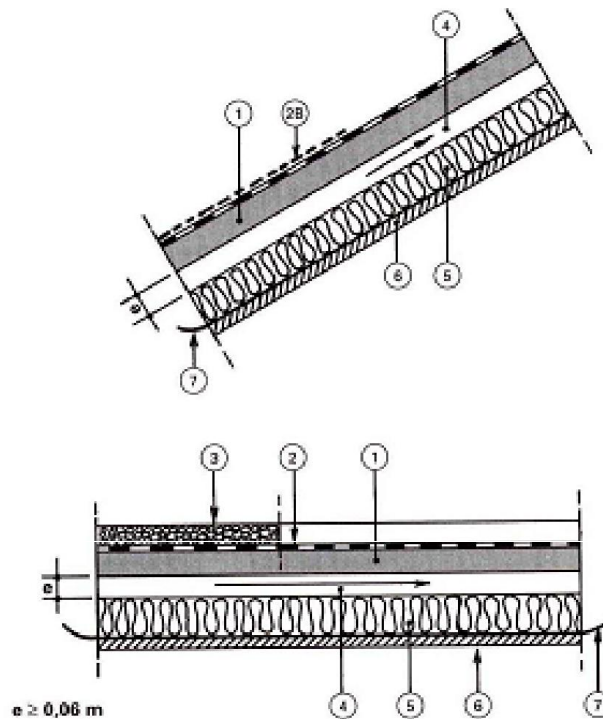
Toiture froide en construction légère



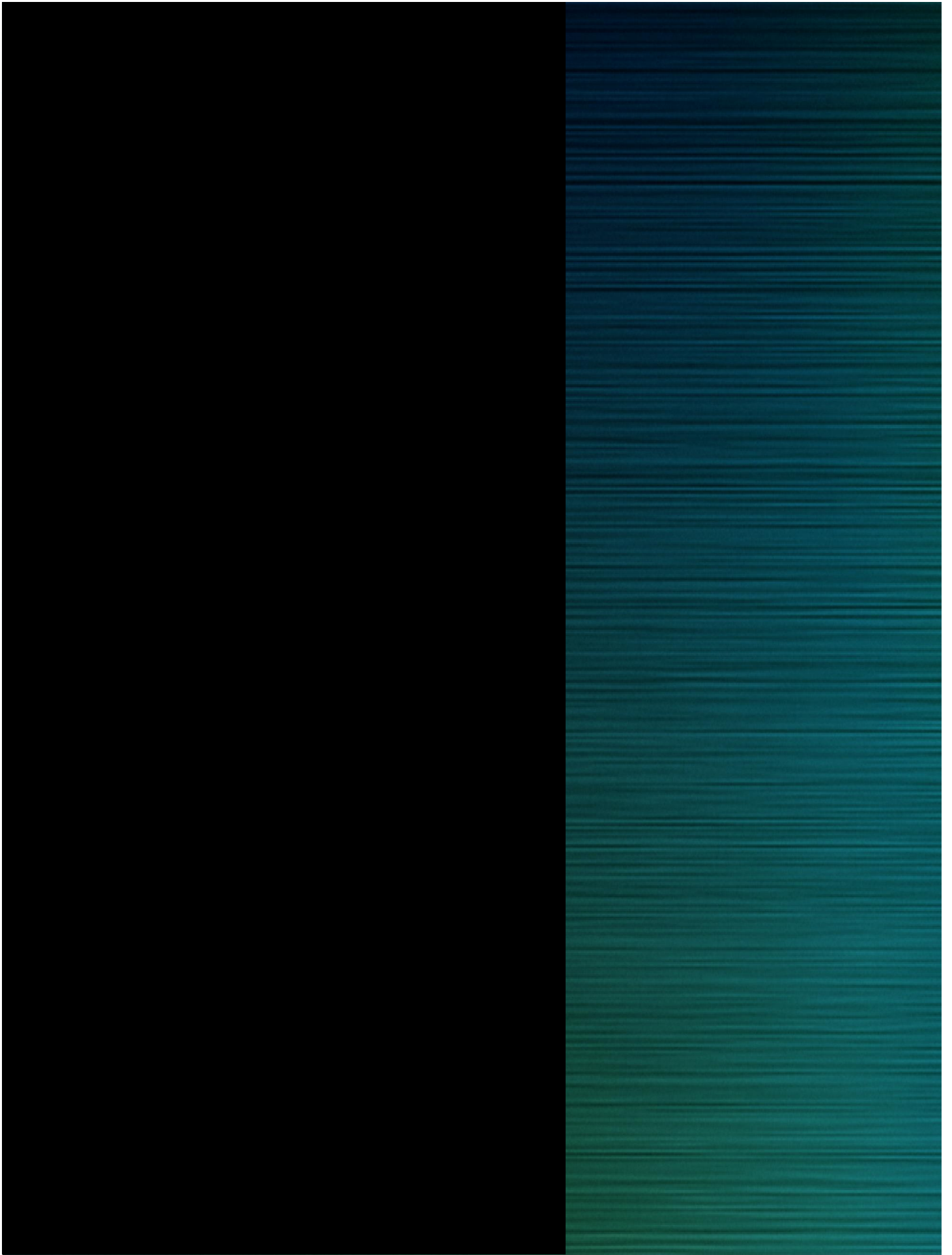
Toiture froide en construction lourde

1 - DÉFINITION D'UNE TOITURE FROIDE :

➤ La définition la plus courante d'une toiture « froide » correspond à ce que l'ensemble de la toiture, c'est-à-dire élément porteur + revêtement d'étanchéité, soit à une température voisine de la température extérieure. Ceci résulte du fait que la sous-face est ventilée par de l'air extérieur.



- ① Élément porteur
- ② Revêtement d'étanchéité
- ②B Revêtement d'étanchéité autoprotégé
- ③ Protection rapportée meuble
- ④ lame d'air ventilée e
- ⑤ Isolant avec pare-vapeur éventuel
- ⑥ Faux-plafond support d'isolant
- ⑦ Pare-vapeur éventuel selon ambiance local

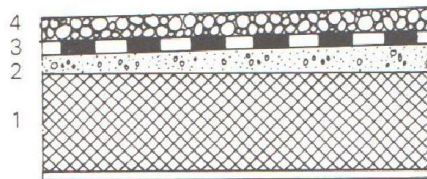


Toiture Froide en Construction Nouvelle

Toiture froide en construction nouvelle

Sans isolation (à un plan)

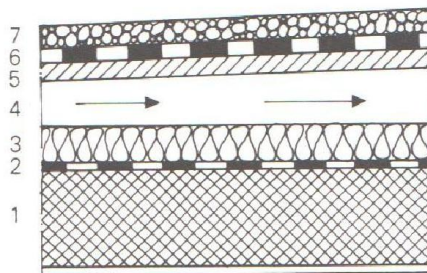
1. Support.
2. Forme de pente.
3. Etanchéité et couche d'égalisation si nécessaire.
4. Couche de protection ou revêtement praticable



Mouvements et dilatation du support.

Toiture froide ventilée

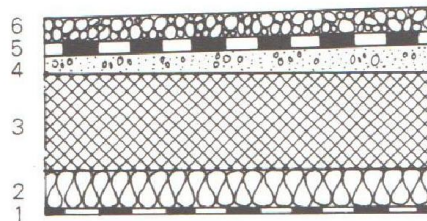
1. Support.
2. Barrière de vapeur étanche à l'air.
3. Isolation thermique.
4. Vide de construction ventilé, $h \geq 100$ mm minimum.
5. Structure supérieure (en pente).
6. Etanchéité.
7. Couche de protection ou revêtement praticable.



Nécessité d'une étude hygrométrique précise; ventilation effective obligatoire entre les deux plans; système assez coûteux.

Isolation sous le support

1. Barrière de vapeur.
2. Isolation thermique.
3. Support.
4. Forme de pente.
5. Etanchéité.
6. Couche de protection ou revêtement praticable.



Nécessite une barrière de vapeur très efficace; mouvements et dilatation du support.

6.5. La toiture végétalisée

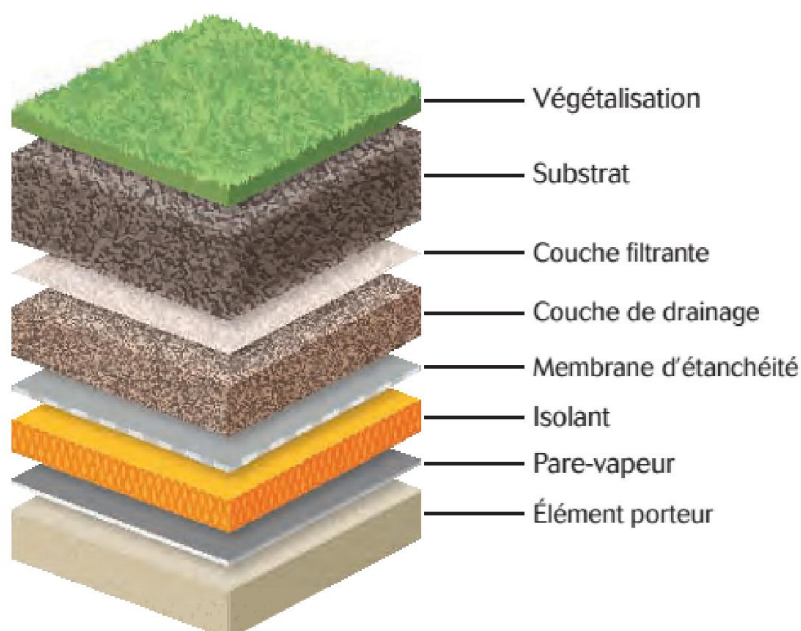
Généralités

Verte

La toiture verte est en fait une toiture plate de type chaud ou inversé, rendue accessible (voir figure ci-dessous).

Elle est recouverte de végétation et des couches nécessaires au développement de celle-ci : protection de l'étanchéité, drainage, substrat, etc. Il existe différentes sortes de toiture verte en fonction du type et de l'épaisseur des couches constitutives ainsi que de l'usage qui en sera fait.

Les différents éléments d'une toiture végétalisée



QUELQUES DÉFINITIONS [CSTC-06]

- **Végétation intensive élaborée** : toutes plantes que l'on trouve dans un jardin : gazon, fleurs, arbustes, arbres, etc.
- **Végétation intensive peu élaborée** : gazon et certaines plantes décoratives à croissance lente.
- **Végétation extensive** : lichens, mousses, sédums et certaines plantes vivaces.
- **Substrat** : couche dans laquelle la végétation est plantée. Il s'agit d'un mélange spécialement développé pour les toitures vertes et de masse volumique plus faible que la terre classique.

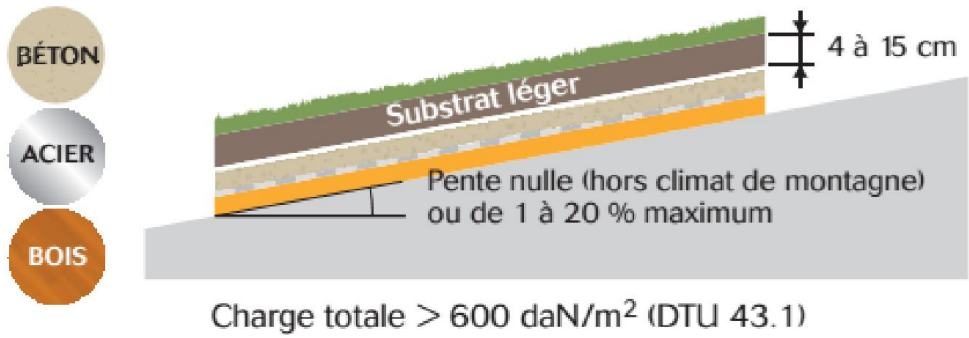


Fig. 1

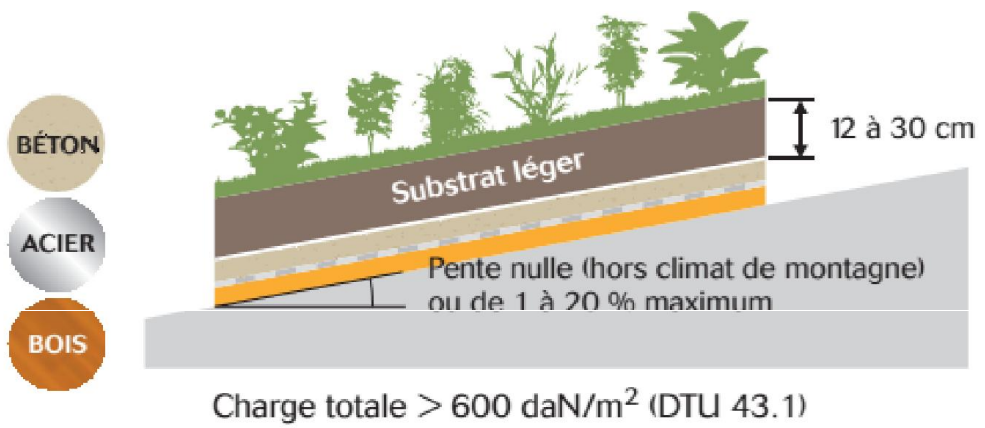


Fig. 2

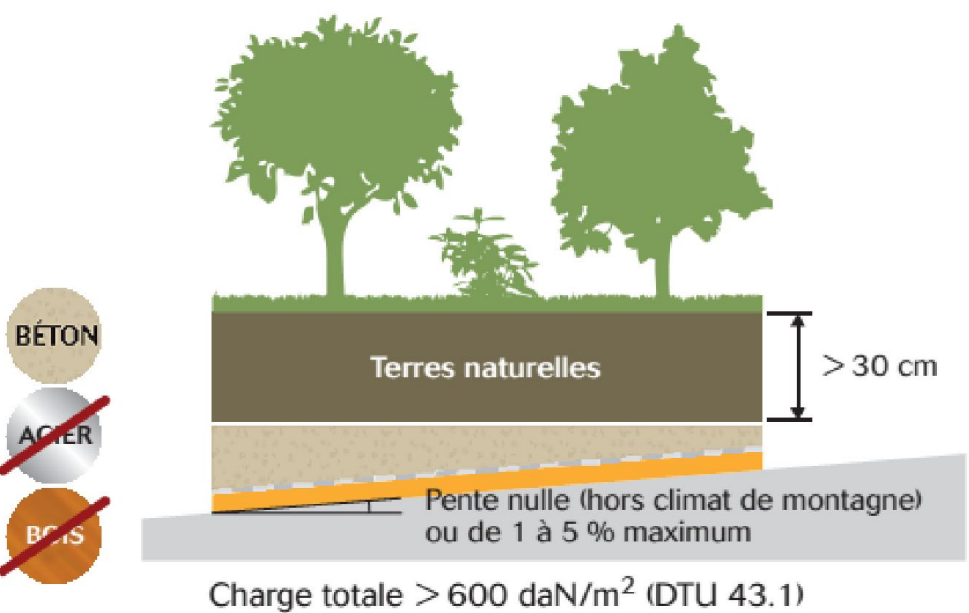
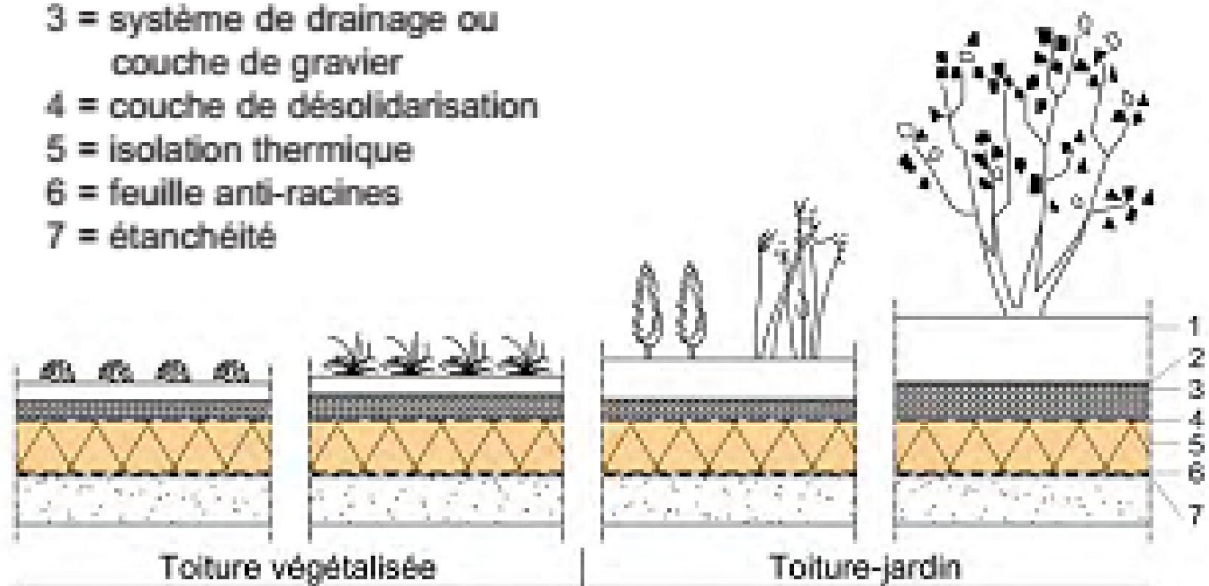


Fig. 3

TOITURE VÉGÉTALISÉE ET TOITURE-JARDIN

- 1 = couche de végétation (terre de bruyère, terre arable, etc.)
- 2 = couche filtrante
- 3 = système de drainage ou couche de gravier
- 4 = couche de désolidarisation
- 5 = isolation thermique
- 6 = feuille anti-racines
- 7 = étanchéité



Il faut insister sur le caractère absolument indispensable de toutes ces couches. Elles ont en effet chacune une fonction particulière à assurer.

La couche de plantation (substrat) doit permettre la diffusion de la vapeur d'eau et être aussi légère que possible. Son épaisseur et sa composition doivent être adaptées en fonction des plantes que l'on souhaite voir pousser.

Dans tous les cas, il faut assurer la protection de la membrane d'étanchéité contre les dommages dus aux activités de jardinage.

Les types de toitures vertes

On distingue trois types de toiture verte dont les principales caractéristiques sont reprises dans le tableau de la page suivante.

LA TOITURE-JARDIN

La toiture-jardin est recouverte de végétation intensive. C'est une toiture aménagée en espace vert, dont la végétation nécessite un entretien spécifique et régulier.

Elle demande une conception spéciale de la toiture et de sa structure portante parce qu'elle entraîne la mise en oeuvre d'une épaisse couche de terre.

L'importance du substrat de la toiture-jardin conduit à des surcharges permanentes qui sont supérieures à 400 kg/m^2 , auxquelles il faut encore ajouter l'eau qui y est contenue : il est opportun de vérifier que ces surcharges peuvent être acceptées sans risque par la structure de la toiture.

LA TOITURE-JARDIN LÉGÈRE

Elle constitue le cas intermédiaire entre les toitures-jardins et les toitures végétalisées.

L'épaisseur de substrat est réduite afin de limiter le poids, qui varie entre 100 et 400 kg/m^2 .

Les végétations extensives et intensives sont envisageables, à l'exception d'arbres ou d'arbustes de trop grande taille.

LA TOITURE VÉGÉTALISÉE

Elle est recouverte de végétation extensive. Le substrat est spécialement développé en fonction de cette végétation afin de ne nécessiter qu'une épaisseur très faible, de l'ordre de quelques dizaines de mm de substrat et de ne demander aucun apport d'eau ou d'engrais.

Cette couche représente ainsi une surcharge de l'ordre de 90 kg/m^2 au maximum (poids lorsqu'elle est humide).

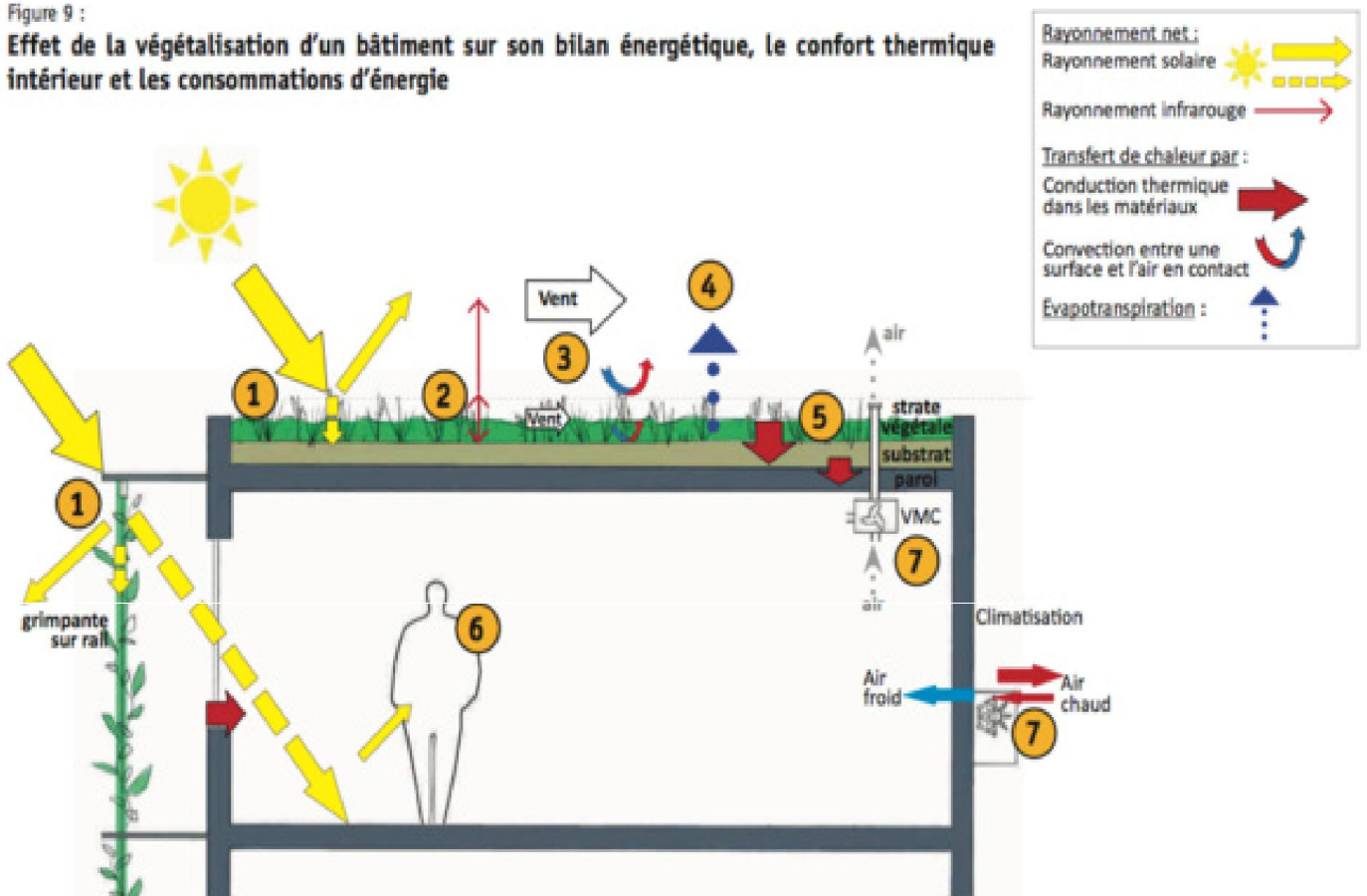
Avantages & Inconvénients

AVANTAGES

- L'amélioration de la qualité de vie : dans certains quartiers limités en espaces verts, on peut transformer une vue sur un matériau imperméabilisant (par exemple, une membrane bitumineuse) en une vue vers une surface plantée. Le pourcentage d'espaces verts dans les villes augmente, avec comme conséquence des effets positifs sur la qualité de l'air, le développement du biotope animal et végétal et la préservation de la biodiversité.
- L'amélioration de la gestion de l'eau : lors de pluies ou d'orages violents, l'eau tombant sur la toiture plate classique est immédiatement évacuée vers les avaloirs et quasi intégralement rejetée vers les égouts.
Dans le cas d'une toiture verte, il existe un effet-tampon : l'eau entre dans les couches de la toiture verte et transite dans celles-ci avant d'atteindre l'avaloir. L'entièreté de la pluie n'est pas rejetée instantanément vers les égouts.
En outre, une partie de l'eau est consommée par les plantes ; une autre est rejetée dans l'atmosphère par évapotranspiration et n'atteint donc pas le réseau d'égouttage.
- L'augmentation du confort thermique et acoustique pour les occupants : la terre contribue à l'isolation thermique et acoustique du bâtiment ; l'inertie thermique de ce dernier est également plus importante. La toiture verte permet de limiter les surchauffes et les variations de température de la membrane.

Figure 9 :

Effet de la végétalisation d'un bâtiment sur son bilan énergétique, le confort thermique intérieur et les consommations d'énergie



D'après une étude réalisée entre 1998 et 2008 par l'Ifsttar *les toitures végétalisées permettent d'économiser de l'énergie quelle que soit la saison*, avec 23 % de gains en été, voire 28 % si les toitures sont arrosées régulièrement. En hiver, ces gains de consommation sont plus faibles (4,5 %), mais *les économies d'énergies correspondantes [sont] plus importantes*. Cependant, ces toits verts n'amélioreraient que *peu* le confort thermique à l'intérieur des bâtiments.

Avantages & Inconvénients

- La protection de l'étanchéité et l'augmentation de sa durée de vie : l'ensemble végétal de la toiture verte recouvre l'étanchéité, qu'elle protège du rayonnement solaire. Au même titre qu'une autre protection (par exemple, gravier), la toiture verte favorise un allongement de la durée de vie de son étanchéité.

INCONVÉNIENTS

- Complexe d'étanchéité difficilement accessible une fois la toiture achevée ;
- Augmentation de la charge appliquée à la structure de la toiture et transmise aux fondations ;
- Entretien annuel et choix judicieux de la végétation à prévoir ;
- Soins à apporter à la réalisation de l'étanchéité et à la jonction des lés, points de passage préférentiels pour les racines en cas de défaut.

Il est difficile de tester la résistance au feu propre aux toitures vertes. En effet, cela dépend du substrat (composition et épaisseur), du type de végétation utilisée et de la saison (la végétation est plus sèche en été). Un compartimentage des zones de végétation par des matériaux inertes, non organiques (dalles en pierre, sable, gravier...) est conseillé, ainsi qu'une composition de substrat à base de matériaux incombustibles.

Inconvénients

INCONVÉNIENTS

Il s'agit d'un système dépassé qui peut causer des dégâts considérables résultant essentiellement de la condensation interne due aux fuites d'air et à une température des matériaux inférieure à la température de l'air.

Lorsque le pare-vapeur est inexistant, déficient ou mal placé, la vapeur d'eau qui migre de l'intérieur vers l'extérieur se condense sous l'étanchéité, sur le support d'étanchéité. La ventilation réelle de la lame d'air est souvent plus faible que celle nécessaire au séchage des condensats.

Lorsque le plafond n'est pas étanche à l'air, l'air intérieur chaud est aspiré dans l'espace ventilé et la vapeur favorise la condensation d'autant plus que les flux d'air sont importants.

Cette condensation peut entraîner l'altération de l'isolant thermique et la suppression de son efficacité, la pourriture des supports de l'étanchéité, le gel des matériaux, le décollement ou le ramollissement des matériaux agglomérés, le développement de moisissures, etc.

La toiture froide est à déconseiller car la mise en oeuvre d'un pare-vapeur efficace est particulièrement difficile et les problèmes de condensation interne presque inévitables. De plus, si le support est en béton, celui-ci travaille thermiquement, ce qui peut engendrer des dégradations.