

## Montage des capteurs solaires sur les toitures à versants



n° 263

2017

Note d'information  
technique

Après plus d'un demi-siècle d'existence, le Centre scientifique et technique de la construction fait désormais place à Buildwise.

Ce nouveau nom porte en lui une orientation nouvelle, davantage axée sur l'innovation, sur la collaboration et sur une approche pluridisciplinaire plus intégrée.

## Pourquoi cette transformation?

### **Votre centre de recherche devient centre d'innovation**

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

### **Dynamiser le partage des connaissances et les interconnexions**

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

### **De la multidisciplinarité à la transdisciplinarité**

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



## Une stratégie ambitieuse pour l'avenir

Buildwise a pour mission d'aider les professionnels de la construction à améliorer la qualité, la productivité et la durabilité et d'ouvrir la voie à l'innovation sur les chantiers et dans les entreprises de construction. Pour ce faire, nous recourons à une approche globale et intégrée et prenons en compte les besoins de tous les corps de métier.

**Plus d'informations sur [buildwise.be](https://www.buildwise.be)**



# NOTE D'INFORMATION TECHNIQUE

N° 263

UNE ÉDITION DU CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION

Décembre 2017



Montage des capteurs solaires  
sur les toitures à versants





# NOTE D'INFORMATION TECHNIQUE

N° 263

## Montage des capteurs solaires sur les toitures à versants

La présente Note d'information technique a été élaborée par un groupe de travail placé sous l'égide du Comité technique Couverture.

### Composition du groupe de travail

<b>Membres</b>	S. Daelman (Eternit)
	T. De Beleyr (Volta)
	S. Dewallef (Soltech)
	Y.-M. Dron (Toitures Dron)
	E. Dupont (CSTC)
	A. Fank (RMB-Box)
	C. Jacobs (Volta)
	J. Lemmens (Velux)
	M. Lesenfants (Toitures Lesenfants)
	P. Leture (Kloeber)
	S. Peeters (Eliosys)
	L. Spincemaille (Eternit)
	W. Stinissen (Volta)
	S. Terryn (Koramic)
	E. Torfs (Volta)
	W. Verbeeck (Ejot)

**Ingénieurs-animateurs** X. Kuborn (CSTC) et P. Van den Bossche (CSTC)

### Ont également apporté leur concours à l'élaboration du document :

D. Langendries (CSTC), Y. Martin (CSTC), M. Peeters (Doerken), G. Pierrard (Toiture Pierrard), F. Quist (Recma), P. Steenhoudt (CSTC) et G. Zarmati (CSTC).



### CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION

CSTC, établissement reconnu en application de l'arrêté-loi du 30 janvier 1947  
Siège social : Rue du Lombard 42 à 1000 Bruxelles

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

La reproduction ou la traduction, même partielles, du texte de la présente Note d'information technique n'est autorisée qu'avec le consentement de l'éditeur responsable.

# Sommaire

1 INTRODUCTION – TERMINOLOGIE .....	5
2 ASPECTS ÉNERGÉTIQUES .....	7
2.1 Orientation des capteurs .....	7
2.2 Inclinaison des capteurs .....	7
2.3 Ombrage sur les capteurs .....	7
2.4 Ventilation de la sous-face des capteurs solaires .....	8
3 INVENTAIRE DES TECHNIQUES DE MONTAGE .....	9
3.1 Montage en surimposition .....	9
3.2 Montage en intégration .....	10
3.3 Montage en semi-intégration .....	11
3.4 Avantages et inconvénients des différentes techniques .....	11
4 IMPACT DES CAPTEURS SOLAIRES SUR LE BÂTIMENT .....	13
4.1 Résistance mécanique et stabilité .....	13
4.2 Sécurité en cas d'incendie .....	14
4.3 Hygiène, santé et environnement .....	15
4.4 Sécurité d'utilisation et accessibilité .....	15
4.4.1 Sécurité d'utilisation : foudre et surtensions .....	15
4.4.2 Accessibilité .....	15
4.4.3 Inspection et entretien .....	16
4.4.4 Protection contre le vol .....	16
4.5 Protection contre le bruit .....	16
4.6 Economie d'énergie et isolation thermique .....	16
4.7 Utilisation durable des ressources naturelles .....	17
4.8 Intégrité de la toiture et de ses accessoires .....	17
4.8.1 Toiture .....	17
4.8.2 Influence des capteurs solaires sur le plan hygrothermique .....	17
4.8.3 Accessoires de toiture .....	18
5 MISE EN ŒUVRE .....	19
5.1 Fixation mécanique des capteurs solaires en surimposition .....	19
5.1.1 Couvertures en plaques ondulées ou en tôles profilées .....	20
5.1.2 Couvertures en tuiles ou en ardoises .....	21
5.1.3 Couvertures en zinc à joints debout .....	29
5.1.4 Toiture sarking .....	30
5.1.5 Distance entre les rails de la structure intermédiaire et la couverture .....	31
5.2 Montage en intégration sur des couvertures en tuiles ou en ardoises .....	31
5.2.1 Positionnement des capteurs dans la toiture .....	31
5.2.2 Fixation mécanique .....	32
5.2.3 Etanchéité .....	33
5.2.4 Raccords entre la couverture et les capteurs solaires .....	34
5.3 Passage des câbles et des conduits .....	39
5.3.1 Percement de la couverture .....	40
5.3.2 Percement de la sous-toiture .....	41
5.3.3 Percement de l'isolation .....	41
5.3.4 Percement du pare-vapeur .....	41

6 CHOIX DES MATÉRIAUX.....	43
6.1 Modes de dégradation des matériaux.....	43
6.1.1 Rayonnement solaire ultraviolet.....	43
6.1.2 Agressions mécaniques.....	43
6.1.3 Corrosion des métaux.....	44
6.1.4 Corrosion galvanique.....	44
6.1.5 Dilatation thermique et déchirure.....	44
6.2 Choix des matériaux.....	44
6.2.1 Crochets.....	44
6.2.2 Visserie pour crochets.....	45
6.2.3 Profilés d'étanchéité.....	45
7 GESTION DU PROJET.....	47
7.1 Etude de faisabilité.....	47
7.2 Montage en toiture.....	48
7.3 Dossier d'intervention ultérieure.....	48
7.4 Accessibilité de la toiture.....	48
7.5 Démontage et remplacement des capteurs solaires.....	48
7.5.1 Montage en surimposition.....	48
7.5.2 Montage en intégration.....	49
7.6 Autres éléments d'intérêt.....	49
7.6.1 Recyclage des capteurs photovoltaïques.....	49
7.6.2 Manutention des capteurs photovoltaïques.....	49
7.6.3 Planification du chantier.....	50
7.6.4 Inspection de l'installation solaire.....	51
7.6.5 Entretien de l'installation.....	51
7.6.6 Nettoyage de l'installation.....	51
Annexe Etat des lieux de la toiture et de l'installation solaire.....	53
Bibliographie.....	55



# 1

## INTRODUCTION – TERMINOLOGIE

Le montage de capteurs solaires sur une toiture donne à celle-ci la fonction supplémentaire de production d'énergie. L'énergie solaire, considérée comme renouvelable, peut être transformée en électricité par des capteurs solaires photovoltaïques ou en chaleur par des capteurs solaires thermiques (figure 1).

La présence de capteurs solaires ne peut toutefois compromettre la fonction principale de la toiture, qui est de protéger durablement le bâtiment et ses occupants contre les phénomènes climatiques. Pour ce faire, les techniques de montage des capteurs solaires doivent être adaptées aux techniques de construction des toitures. Un examen préalable de la toiture permet d'en déterminer la structure et la composition, de déceler les éventuels défauts et d'y remédier avant le montage des capteurs. Cet examen permet également d'estimer la durée de vie résiduelle de la toiture, qui doit être supérieure à la durée de vie de l'installation solaire (au moins 20 ans).

Le choix de la technique appropriée de montage, de matériaux de qualité adaptés aux conditions du chantier ainsi qu'une mise en œuvre irréprochable sont essentiels pour garantir la durabilité de l'installation solaire, de la toiture et

du bâtiment. La réalisation de ces tâches nécessite des compétences spécifiques au métier de couvreur.

La présente Note d'information technique (NIT) a pour objectif de proposer des solutions concrètes pour le montage de capteurs solaires sur les toitures à versants, tant en construction neuve et qu'en rénovation. Elle s'applique aux toitures dont la pente est comprise entre 15° et 75° (1), ainsi qu'aux types de couverture les plus fréquents : plaques ondulées, tuiles, ardoises et feuilles de zinc à joints debout.

Cette NIT traite principalement de l'adaptation des éléments de couverture, nécessaire pour fixer et assurer l'étanchéité des installations solaires. Les capteurs solaires qui sont directement intégrés dans un élément de couverture, de même que les installations solaires qui remplacent totalement une couverture ne sont dès lors pas couverts par ce document.

Des informations complémentaires sur la conception des installations solaires photovoltaïques sont disponibles dans une Note d'information technique Electricité publiée par Volta [24]. Pour plus d'informations concernant la conception des installations solaires thermiques, le lecteur consultera la [Note d'information technique n° 212](#) du CSTC [12].

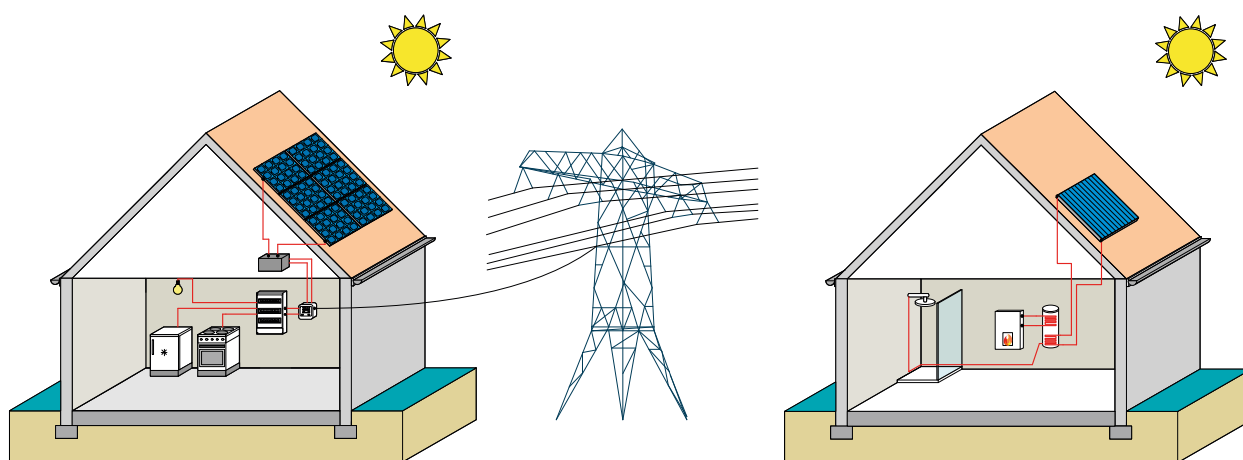


Fig. 1 Grâce aux capteurs solaires, un bâtiment peut produire de l'électricité et/ou de la chaleur.

(1) En dessous de 15°, la toiture est dite plate. Une paroi inclinée à plus de 75° est considérée comme une façade.

## Terminologie

### Amont/aval de la toiture

Par référence à l'écoulement naturel de l'eau sur la toiture, se dit d'un élément situé plus haut (en amont) ou plus bas (en aval) qu'un autre élément.

### Capteur solaire

Dispositif destiné à récupérer le rayonnement solaire pour produire de l'énergie.

### Capteur solaire thermique

Capteur solaire destiné à produire de la chaleur.

### Capteur solaire photovoltaïque

Capteur solaire destiné à produire de l'électricité.

### Charpente

Structure en bois, en métal ou en béton qui soutient l'isolation et la couverture.

### Complexe de toiture

Ensemble des éléments d'une toiture moderne : couverture, sous-toiture, isolation thermique, pare-vapeur et finition intérieure.

### Couverture

Ensemble des éléments assurant l'étanchéité à la pluie d'une toiture à versants.

### Élément de substitution

Dans le cas d'un montage en semi-intégration, élément qui remplace un ou plusieurs éléments de couverture et qui assure l'étanchéité à la pluie.

### Montage des capteurs solaires

Mise en œuvre des capteurs solaires sur une toiture.

### Sous-face d'un capteur solaire

Surface d'un capteur solaire orientée en direction opposée à la surface réceptrice.

### Surface réceptrice d'un capteur solaire

Surface d'un capteur solaire destinée à recevoir le rayonnement solaire.

### Structure intermédiaire

Structure assurant la liaison entre les capteurs solaires et la toiture (rails et crochets, par exemple).

# 2

## ASPECTS ÉNERGÉTIQUES

De nombreux paramètres influencent le choix du placement d'une installation solaire en toiture. L'objectif recherché est souvent de réduire la consommation énergétique du bâtiment. Pour certains, l'aspect écologique de la démarche et la satisfaction d'être producteur d'énergie renouvelable entrent également en considération.

Dans tous les cas, il est important de maximiser le rendement énergétique de l'installation solaire, autrement dit d'exploiter au maximum le potentiel de production d'énergie générée localement par l'ensoleillement (voir à ce sujet le site [www.ef4.be](http://www.ef4.be)). Dans la suite du texte, seuls les aspects énergétiques liés au montage des capteurs solaires en toiture sont abordés :

- orientation des capteurs
- inclinaison des capteurs
- ombrage projeté sur les capteurs
- ventilation de la sous-face des capteurs.

Les trois premiers paramètres influencent la production d'énergie de par la quantité de rayonnement solaire qui atteint les capteurs solaires.

La ventilation de la sous-face permet, pour des capteurs solaires photovoltaïques, de limiter leur échauffement et son effet négatif sur le rendement.

### 2.1 ORIENTATION DES CAPTEURS

Qu'ils soient thermiques ou photovoltaïques, les capteurs solaires devraient idéalement être orientés plein sud. Il est dès lors recommandé de les installer sur un versant de toiture qui se rapproche autant que possible de cette orientation.

Entre le sud-est et le sud-ouest, la diminution des apports solaires par rapport au sud est de l'ordre de 5 % au maximum; elle peut atteindre plus de 15 % lorsque les capteurs sont orientés à l'est ou à l'ouest. L'influence de l'orientation sur le rendement n'est donc pas linéaire; un léger décalage par rapport au sud est quasiment sans conséquence, alors qu'un décalage plus important peut fortement pénaliser la production.

### 2.2 INCLINAISON DES CAPTEURS

L'inclinaison optimale des capteurs solaires dépend de l'objectif recherché. Pour des capteurs photovoltaïques, on vise généralement à maximiser la production annuelle d'énergie. L'inclinaison optimale en Belgique est dans ce cas comprise entre 30 et 35°. Des valeurs plus précises en fonction de la position exacte de l'installation sont disponibles sur le site <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>. Pour des capteurs thermiques destinés à produire de l'eau chaude sanitaire, l'ensoleillement est généralement excédentaire en été et insuffisant en hiver. Il est alors intéressant d'incliner davantage les capteurs, entre 40 et 45°, afin de bénéficier de plus de soleil en hiver. Pour des capteurs thermiques destinés au chauffage des bâtiments, l'angle d'inclinaison peut être encore plus élevé, car les besoins de chauffage sont nuls en été. C'est l'inverse pour des capteurs thermiques destinés au chauffage d'une piscine en été, puisque les besoins sont nuls en hiver. De tels capteurs peuvent éventuellement être placés à l'horizontale.

De toute façon, pour des raisons esthétiques évidentes, les capteurs solaires sont généralement installés dans le plan de la toiture. En Belgique, l'inclinaison courante des toitures est d'environ 40°, ce qui est proche des valeurs recommandées pour la production d'électricité et la production d'eau chaude sanitaire. Il n'est dès lors pas nécessaire, ni souhaitable, de prendre des mesures spécifiques pour corriger l'inclinaison des capteurs par rapport à celle de la toiture.

### 2.3 OMBRAGE SUR LES CAPTEURS

L'ombre empêche le rayonnement solaire direct d'atteindre les capteurs, ce qui diminue inévitablement leur production. L'effet est difficile à quantifier, car certains capteurs sont plus sensibles que d'autres à la lumière diffuse, qui atteint le capteur malgré l'ombrage. De plus, certaines technologies permettent de maîtriser correctement la présence d'ombre, alors que cette gestion est catastrophique pour d'autres.

Pour des capteurs thermiques, la diminution de la production est plus ou moins proportionnelle au pourcentage de

la surface réceptrice couverte par l'ombre. En cas de gel, les capteurs thermiques à vidange automatique peuvent afficher une température moyenne supérieure à 20 °C, alors que la zone ombragée est à une température inférieure à zéro. Dans ces conditions, la vidange automatique du fluide caloporteur (eau non glycolée) ne sera pas assurée, puisque la température mesurée est de l'ordre de 20 °C. Le fluide peut dès lors geler localement et endommager le capteur.

Pour des capteurs photovoltaïques, la perte de production peut être largement supérieure au pourcentage de surface ombragée. Toutefois, le type de cellules photovoltaïques, le schéma de connexion des capteurs et le type d'onduleur peuvent minimiser les pertes liées à l'ombrage. Des informations complémentaires sont disponibles dans l'ouvrage de Volta [24].

L'ombre peut provenir de bâtiments, d'arbres ou d'obstacles voisins. Elle peut également être projetée par des éléments de toiture tels que des cheminées ou des chiens-assis. Selon les cas, l'heure de la journée et la période de l'année, elle peut couvrir totalement la toiture ou uniquement une petite partie. Certains logiciels de conception des bâtiments permettent une estimation de l'ombrage. D'autres techniques sont décrites dans l'ouvrage précité [24].

## 2.4 VENTILATION DE LA SOUS-FACE DES CAPTEURS SOLAIRES

La manière dont le montage des capteurs solaires est réalisé sur une toiture à versants influence le niveau de ventilation de leur face non exposée (orientée du côté de la toiture). Selon le type et la technologie des capteurs, cette ventilation peut être un avantage ou un inconvénient. Les capteurs thermiques sont isolés thermiquement, afin de minimiser les pertes de chaleur vers l'atmosphère. Une ventilation spécifique de leur sous-face n'est dès lors pas souhaitée, même si, étant donné leur niveau d'isolation, son influence sur le rendement est faible. Le rendement des capteurs solaires photovoltaïques diminue lorsque leur température augmente. Une ventilation de leur sous-face est dès lors souhaitable, car elle permet une meilleure dissipation de la chaleur. Le montage en surimposition (voir § 3.1, p. 9) offre naturellement une ventilation maximale. En cas de montage en intégration (cf. § 3.2, p. 10), il convient d'assurer la circulation de l'air entre la sous-face des capteurs et la sous-toiture; c'est le cas lorsque les capteurs sont placés sur les contre-lattes. Au cours d'une année, la quantité d'énergie produite par un système en surimposition sera légèrement supérieure à celle générée par un système en intégration. Des études [19] [21] ont montré que la différence ne devrait pas dépasser 5 %.

# 3

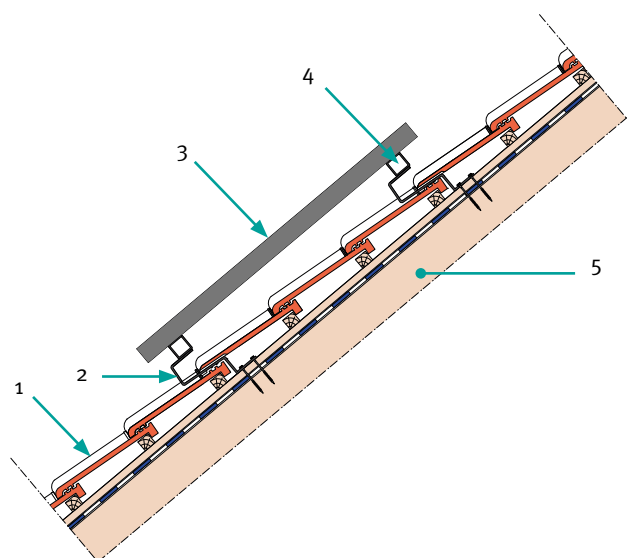
## INVENTAIRE DES TECHNIQUES DE MONTAGE

Sur une toiture à versants, les capteurs solaires sont le plus souvent installés selon l'une des techniques suivantes :

- en surimposition
- en intégration
- en semi-intégration.

### 3.1 MONTAGE EN SURIMPOSITION

Les capteurs solaires sont placés au-dessus de la couverture et n'assurent aucune fonction d'étanchéité à la pluie. Ils sont généralement assemblés sur des rails métalliques, solidement fixés dans la charpente par des pièces spécifiques (goujons, crochets, par exemple) dont la forme et les dimensions sont adaptées aux conditions du chantier. Les capteurs sont situés à une distance habituellement comprise entre 5 et 15 cm de la couverture.



- |                         |                    |
|-------------------------|--------------------|
| 1. Couverture en tuiles | 4. Rail métallique |
| 2. Crochet de fixation  | 5. Charpente       |
| 3. Panneau solaire      |                    |

Fig. 2 Montage en surimposition.

Un schéma de principe est fourni à la figure 2. Des photos d'illustration sont présentées aux figures 3 et 4.



Fig. 3 Capteurs solaires photovoltaïques en surimposition.

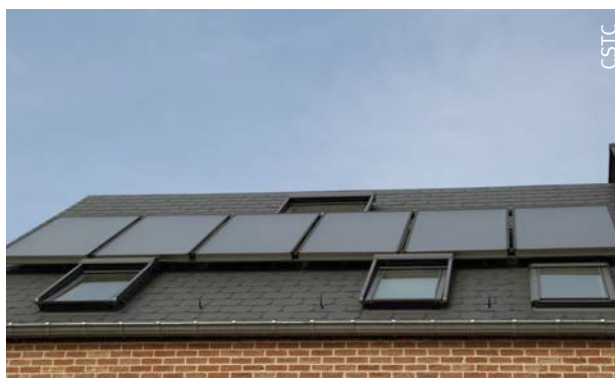


Fig. 4 Capteurs solaires thermiques en surimposition.

### 3.2 MONTAGE EN INTÉGRATION

Un système constitué de capteurs solaires plans et de raccords d'étanchéité spécifiques remplace une partie de la couverture. Ce système doit posséder des fonctions (étanchéité à la pluie, par exemple) et des performances (durabilité entre autres) semblables ou supérieures aux éléments de couverture qu'il remplace. Les raccords d'étanchéité entre le système et la couverture doivent être adaptés au type de couverture.

Un schéma de principe est fourni à la figure 5. Des photos d'illustration sont présentées aux figures 6 et 7.

Des capteurs solaires intégrés aux éléments de couverture et une vue d'ensemble d'une toiture équipée de tels éléments sont présentés à titre d'information à la figure 8.

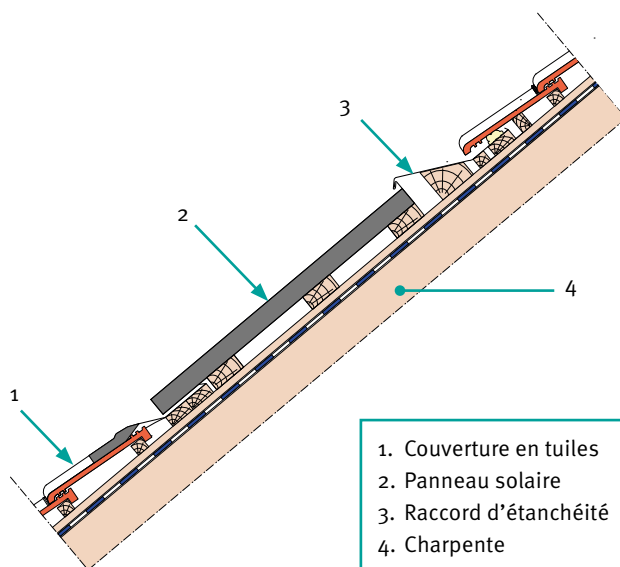


Fig. 5 Montage en intégration.



Fig. 6 Capteurs solaires photovoltaïques en intégration.



Fig. 7 Capteurs solaires thermiques en intégration.

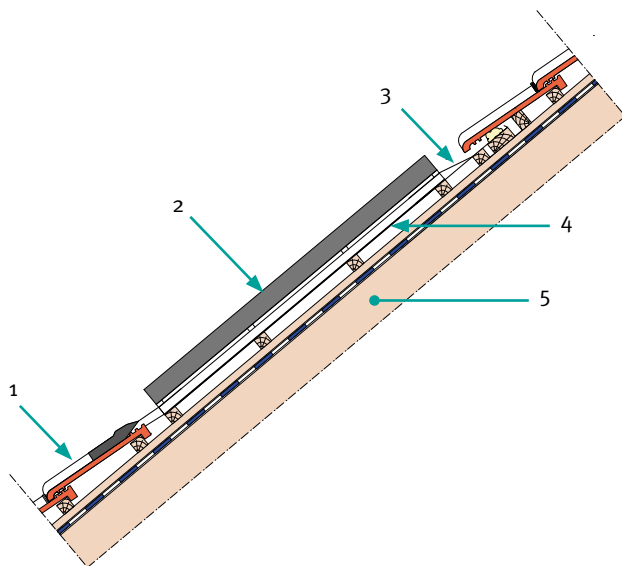


Fig. 8 Capteurs intégrés aux éléments de couverture et vue d'ensemble d'une installation photovoltaïque intégrée à la toiture.

### 3.3 MONTAGE EN SEMI-INTÉGRATION

Des éléments de substitution placés sous les capteurs ainsi que des raccords d'étanchéité spécifiques remplacent une partie de la couverture et doivent posséder des fonctions (étanchéité à la pluie, etc.) et des performances (durabilité, etc.) semblables ou supérieures aux performances de la toiture. Les capteurs solaires sont fixés sur les éléments de substitution au moyen d'un dispositif spécifique et n'ont aucun rôle d'étanchéité à la pluie.

Un schéma de principe est fourni à la figure 9. Une photo d'illustration est présentée à la figure 10.



- |                         |                            |
|-------------------------|----------------------------|
| 1. Couverture en tuiles | 4. Panneau de substitution |
| 2. Panneau solaire      | 5. Charpente               |
| 3. Raccord d'étanchéité |                            |

Fig. 9 Montage en semi-intégration.



Fig. 10 Capteurs solaires photovoltaïques en semi-intégration.

### 3.4 AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES DIFFÉRENTES TECHNIQUES

Chaque technique de montage possède des caractéristiques qui lui sont propres et qui peuvent, selon les conditions du projet, constituer des avantages ou des inconvénients. Quelques spécificités sont évoquées ci-dessous en toute généralité pour chaque technique.

Le **montage en surimposition** nécessite peu d'interventions sur la couverture existante, qui conserve sa fonction d'étanchéité durant les travaux. La mise en œuvre des crochets doit être réalisée selon les règles de l'art, pour ne pas compromettre l'intégrité et la durabilité de la couverture. Les espaces entre les capteurs, de même que le pourtour de l'installation solaire sont ouverts, ce qui garantit la circulation de l'air.

Le **montage en intégration ou en semi-intégration** permet de limiter l'impact visuel des capteurs sur la toiture. L'installation solaire reprenant la fonction d'étanchéité à la pluie de la couverture, il faut assurer sa durabilité en veillant à la qualité des matériaux et en soignant la mise en œuvre. Bien qu'il n'y ait aucune contre-indication pour un montage sur une toiture existante, ces techniques sont plus intéressantes sur des toitures neuves ou à rénover, où elles permettent de réaliser des économies sur les matériaux de couverture et sur leur pose. Dans le cas du montage en intégration, la périphérie des capteurs et les espaces entre capteurs sont relativement fermés, ce qui limite la circulation de l'air. En cas de semi-intégration, la circulation de l'air autour des capteurs est comparable à celle du montage en surimposition.

Le **montage en intégration** est principalement réalisé pour des raisons esthétiques; il permet en effet de réduire le décalage entre le plan de la toiture et le plan des capteurs solaires. Ce type de montage est fréquent pour les capteurs solaires thermiques, mais relativement rare pour les capteurs photovoltaïques. Il s'applique en théorie à tout type de couverture. Néanmoins, dans la pratique, il est presque exclusivement réalisé sur des couvertures en tuiles ou en ardoises.



# 4

## IMPACT DES CAPTEURS SOLAIRES SUR LE BÂTIMENT

Les capteurs solaires et leurs dispositifs de fixation et d'étanchéité font partie intégrante du bâtiment sur lequel ils sont installés. Leur présence ne peut modifier les exigences essentielles, qui sont :

- la résistance mécanique et la stabilité
- la sécurité en cas d'incendie
- l'hygiène, la santé et l'environnement
- la sécurité d'utilisation et l'accessibilité
- la protection contre le bruit
- l'économie d'énergie et l'isolation thermique
- l'utilisation durable des ressources naturelles

et auxquelles le bâtiment doit répondre afin d'être apte à l'usage prévu pendant une durée de vie économiquement raisonnable, sous réserve d'un entretien normal.

Par ailleurs, les capteurs solaires et leurs dispositifs de fixation et d'étanchéité ne peuvent compromettre l'intégrité de la toiture (étanchéité à la pluie, par exemple) ni diminuer ses performances (niveau d'isolation thermique, par exemple).

### 4.1 RÉSISTANCE MÉCANIQUE ET STABILITÉ

Les capteurs solaires sont soumis à des sollicitations mécaniques auxquelles leurs dispositifs de fixation doivent être capables de résister. Ces sollicitations comprennent :

- l'effet du vent, qui s'exerce perpendiculairement au plan des capteurs, en surpression ou en dépression
- le poids propre des capteurs, qui s'exerce verticalement vers le bas
- le poids de la neige, qui s'exerce verticalement vers le bas.

Les dispositifs de fixation transmettent ces sollicitations à la charpente, qui doit être apte à les supporter sans déformation excessive et sans rupture. Les charpentes sont normalement dimensionnées compte tenu des charges de vent et des charges de neige.

La présence des capteurs solaires n'augmente pas la charge globale de neige. Ils constituent cependant une surface plus lisse que celle de la couverture, de sorte que la neige aura naturellement tendance à glisser vers leur partie inférieure où elle pourra s'accumuler. Ce phénomène est illustré à la figure 11.



Fig. 11 Accumulation de neige au pied des capteurs solaires.

Les cycles de gel et de dégel sont susceptibles d'accroître la densité de la neige accumulée, ce qui peut déformer le système de fixation et endommager les éléments de couverture ainsi que les ouvrages d'évacuation des eaux pluviales.

La présence des capteurs solaires n'augmente pas la charge globale du vent en surpression sur la toiture. Par contre, elle accroît sensiblement la charge globale du vent en dépression lorsque les capteurs sont montés en surimposition. Cette charge est toutefois insuffisante pour poser des problèmes de stabilité au niveau de la toiture. Le vent peut néanmoins entraîner l'arrachement des capteurs, mettre en péril la sécurité des personnes circulant à proximité et provoquer des dégâts sur la toiture ainsi que sur les bâtiments voisins.

Les dispositifs de fixation des capteurs dans la charpente doivent être dimensionnés de manière à prévenir l'arrachement des éléments. Un **outil de calcul** permettant d'effectuer ce dimensionnement est disponible sur le site Internet du CSTC (rubrique 'Outils de calcul').

Seul le poids propre de l'installation solaire n'est pas initialement comptabilisé dans le dimensionnement de la charpente. L'ajout d'une telle installation sur une charpente classique en bon état pose donc rarement problème. Pour un montage en intégration, il convient également de décompter le poids des éléments de couverture remplacés par des capteurs.

Une attention particulière est requise dans les cas suivants :

- lorsque la toiture montre des signes de vétusté ou d'affaissement
- lorsqu'elle a une faible capacité portante (toiture industrielle légère, par exemple)
- lorsqu'on est en présence d'un chauffe-eau solaire à thermosiphon (cf. figure 12).

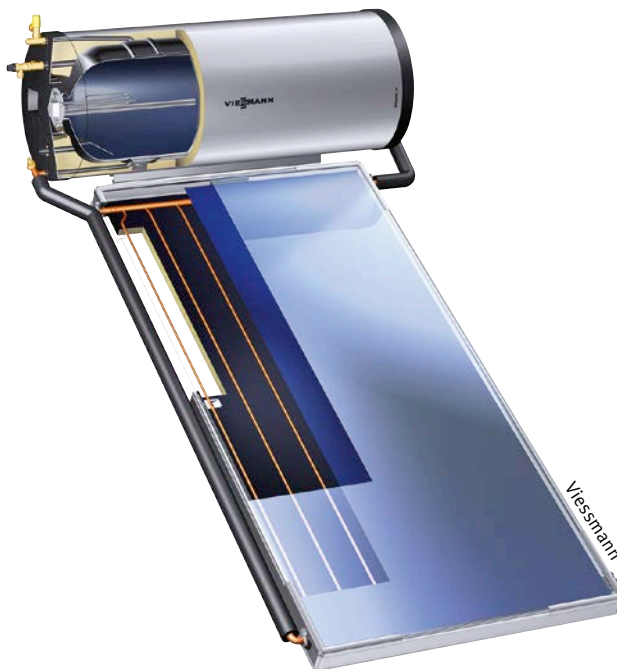


Fig. 12 Exemple de chauffe-eau solaire à thermosiphon.

#### Estimation du poids des capteurs solaires

Les capteurs photovoltaïques présentent généralement un poids compris entre 11 et 13 kg/m<sup>2</sup>. Les capteurs thermiques plans ou tubulaires sont un peu plus lourds, avec un poids généralement compris entre 15 et 25 kg/m<sup>2</sup>.

Certains capteurs thermiques à thermosiphon intègrent un réservoir d'eau chaude (cf. figure 12) dont le volume se situe entre 50 et 100 litres d'eau par m<sup>2</sup> de surface réceptrice. Au poids à vide d'environ 50 kg/m<sup>2</sup>, il faut ajouter le poids de l'eau stockée, pour un total compris entre 100 et 150 kg/m<sup>2</sup>. Ces systèmes sont fréquents dans les zones où le climat est chaud, mais sont rarement utilisés en Belgique.

## 4.2 SÉCURITÉ EN CAS D'INCENDIE

La présence de capteurs solaires, qu'ils soient de type thermique ou photovoltaïque, est susceptible de modifier les performances au feu des toitures sur lesquelles ils sont installés.

Ces caractéristiques de performance au feu sont décrites dans la réglementation, notamment dans l'arrêté royal du 7 juillet 1994 – et ses modifications (1997, 2003, 2007, 2009, 2012) – fixant les normes de base en matière de prévention contre l'incendie et l'explosion, auxquelles les bâtiments nouveaux doivent satisfaire [22]. Cet arrêté concerne tous les bâtiments nouveaux, à l'exclusion des maisons unifamiliales et des bâtiments comptant deux niveaux maximum et une superficie totale inférieure ou égale à 100 m<sup>2</sup>.

Les capteurs solaires peuvent potentiellement influencer trois caractéristiques des toitures des bâtiments qui doivent répondre aux exigences de sécurité incendie :

- la période durant laquelle la capacité portante (critère R) d'un élément porteur de la toiture est satisfaite en cas d'incendie à l'intérieur du bâtiment
- la période durant laquelle l'étanchéité (critère E) et l'isolation thermique (critère I) du complexe de toiture sont satisfaites lorsqu'un incendie survient à l'intérieur du bâtiment
- la capacité du complexe de toiture à limiter la propagation d'un incendie provenant de l'extérieur du bâtiment.

La surcharge engendrée par les capteurs solaires sur la toiture doit être prise en compte au moment du calcul de la capacité portante en situation d'incendie (critère R). Pour des toitures à versants, cette surcharge est généralement faible et ne devrait pas nécessiter systématiquement un surdimensionnement ou une protection complémentaire pour atteindre la résistance au feu requise (critère R).

Placés à l'extérieur du bâtiment, les capteurs solaires n'ont pas d'influence sur l'étanchéité au feu de la toiture (critère E) ni sur son isolation thermique (critère I). Si une exigence est requise, les éventuels percements effectués pour permettre le passage des câbles et des conduits doivent être mis en œuvre en tenant compte de ces critères, selon les prescriptions de la [Note d'information technique n° 254](#) [17].

Les éléments classiques de couverture tels que les tuiles, les ardoises, les plaques ondulées en fibrociment, etc., ne favorisent pas la propagation d'un incendie vers l'intérieur du bâtiment ou vers d'autres zones de la toiture. Si les capteurs solaires sont placés en intégration (cf. § 3.2, p. 10), il faut qu'ils présentent la même performance en terme de compor-

tement vis-à-vis d'un feu extérieur que les éléments de couverture qu'ils remplacent, c'est-à-dire qu'ils doivent appartenir à la classe  $B_{\text{ROOF}}(t_1)$  (2).

En marge des aspects réglementaires évoqués ci-dessus, les capteurs solaires peuvent également avoir une influence sur les aspects suivants de la sécurité incendie :

- les capteurs photovoltaïques sont raccordés entre eux par des câbles et des boîtiers électriques, qui constituent des sources potentielles de chaleur. Le cas échéant, des précautions doivent être prises à proximité de matériaux inflammables. Dans le cas d'un montage en intégration, il faut veiller à ne pas mettre en contact ces sources potentielles de chaleur avec certains types de sous-toitures et d'isolants inflammables (3). En surimposition, ces sources potentielles de chaleur sont généralement séparées des matériaux inflammables par la couverture, qui constitue dans la plupart des cas un écran de protection incombustible
- la présence de capteurs solaires, thermiques ou photovoltaïques, peut modifier les conditions de propagation des flammes et perturber l'intervention des pompiers. Montés en surimposition, ils peuvent entraver l'action des lances à incendie et modifier la circulation de la fumée dans la toiture. La présence de l'installation peut également modifier les conditions d'accès et d'intervention des services d'incendie sur ou via la toiture ainsi que l'évacuation des personnes se trouvant dans le bâtiment. En aucun cas, les capteurs ne peuvent gêner l'ouverture des fenêtres de toit et en particulier des exutoires de désenfumage
- en cas d'incendie, le risque d'électrocution lié à la présence des capteurs solaires photovoltaïques est accru. Le feu peut en effet détruire la gaine isolante des câbles électriques et mettre le conducteur à nu. Des capteurs partiellement détruits par les flammes peuvent toujours produire une tension électrique à leurs bornes. Ce risque concerne principalement l'action des services d'incendie et l'évacuation des personnes.

### 4.3 HYGIÈNE, SANTÉ ET ENVIRONNEMENT

La présence d'une installation solaire en toiture n'a pas d'influence sur l'hygiène et la santé des occupants ou des personnes se trouvant à proximité. Elle ne cause en outre aucun préjudice à l'environnement.

## 4.4 SÉCURITÉ D'UTILISATION ET ACCESSIBILITÉ

### 4.4.1 SÉCURITÉ D'UTILISATION : Foudre et SURTENSIONS

La présence de capteurs solaires en toiture n'augmente pas le risque de foudroiement. Toutefois, si le bâtiment présente un risque élevé de foudroiement, il convient de protéger l'installation photovoltaïque. Cette protection s'effectue à deux niveaux :

- une protection externe contre les coups de foudre directs
- une protection interne contre les surtensions.

Si le bâtiment est équipé d'une protection contre la foudre et les surtensions, il faut vérifier que cet équipement permette de protéger les capteurs photovoltaïques. La mise en œuvre d'un système de protection nécessite des compétences spécifiques qui ne sont pas traitées dans ce document. Le sujet de la foudre et des installations photovoltaïques est étudié dans un [Dossier du CSTC](#) [1] et dans la Note d'information technique Electricité 002 de Volta [24]. Les aspects normatifs sont traités dans les normes de la série NBN EN 62305 [5 à 8].

### 4.4.2 ACCESSIBILITÉ

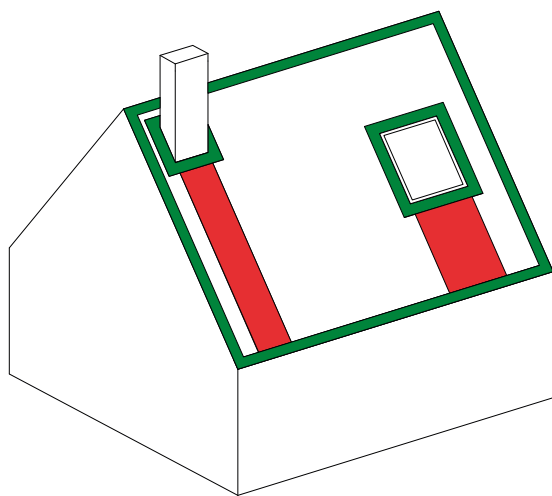
Il est parfois nécessaire d'accéder de manière ponctuelle à différents éléments d'une toiture à versants, pour procéder à des inspections et des entretiens (4). C'est par exemple le cas lors du ramonage des conduits de fumée et du nettoyage des ouvrages d'évacuation des eaux pluviales. Il convient également de préserver l'accès aux fenêtres de toit pour l'évacuation des personnes en cas d'incendie.


Le placement d'une installation solaire augmente le besoin d'accessibilité et modifie fortement les conditions d'accès à la toiture. En effet, les capteurs sont des éléments fragiles sur lesquels il est déconseillé de marcher, au risque de les endommager (cf. § 7.6.2, p. 49). De plus, sur la partie du toit où ils sont installés, leur présence empêche d'utiliser les moyens classiques d'accès à la toiture, tels que les échelles de toit ou l'enlèvement temporaire de certaines tuiles. En cas d'évacuation de personnes par la toiture, les capteurs plans constituent en outre des surfaces glissantes qui rendent les déplacements dangereux.

(2) La classe  $B_{\text{roof}}(t_1)$  désigne la performance d'une toiture exposée à un feu extérieur (NBN EN 13501-5) [4]. Elle vise à prévenir la création de foyers secondaires sur la toiture en évitant sa perforation et la propagation de l'incendie à sa surface.

(3) La classe de réaction au feu d'un matériau est définie dans la norme NBN EN 13501-1 [3].

(4) Voir à ce sujet le 'Guide de l'entretien pour des bâtiments durables' édité par le CSTC [10].



 Zone d'exclusion pour l'accès


 Zone d'exclusion pour l'entretien

Fig. 13 Exemples de zones d'exclusion pour les capteurs solaires.

Il est dès lors recommandé, pour des raisons de sécurité, de ne pas installer de capteurs dans les zones qui nécessitent un accès exceptionnel lors d'une évacuation d'urgence. Il est également recommandé de maintenir libre une zone de 30 cm à partir des rives et du faîte du toit, pour permettre l'inspection et l'entretien de ces zones plus sensibles. Enfin, pour des raisons pratiques, on conseille de prévoir les moyens d'accès suffisants – ne passant pas par les capteurs – aux zones qui nécessitent des inspections ou des entretiens ponctuels.

Un exemple de zones d'exclusion des capteurs solaires est présenté à titre informatif à la figure 13. Ces zones peuvent être modifiées selon la manière d'envisager l'accès, par exemple depuis l'autre versant de la toiture.

#### 4.4.3 INSPECTION ET ENTRETIEN

Une installation solaire nécessite potentiellement plus d'entretien qu'une toiture, surtout si un nettoyage périodique des capteurs est nécessaire. Dans tous les cas, une inspection régulière permet de vérifier l'état de la toiture et des capteurs. Si nécessaire, des moyens d'accès doivent être prévus afin de pouvoir inspecter et/ou nettoyer les capteurs en toute sécurité. Lorsqu'une intervention plus lourde est nécessaire, un dispositif spécifique aux travaux en hauteur doit être mis en œuvre.

D'autres zones de la toiture nécessitent des entretiens ou des remplacements, comme par exemple les raccords d'étanchéité et les dispositifs d'évacuation des eaux de

pluie. Ces zones doivent également être suffisamment dégagées pour permettre d'effectuer l'entretien ou le remplacement dans de bonnes conditions. Les zones d'exclusion autour des éléments à entretenir et/ou à remplacer sont schématisées à la figure 13.

#### 4.4.4 PROTECTION CONTRE LE VOL

Les capteurs solaires représentent un investissement important pour lequel une protection contre le vol est parfois souhaitée. Ce type de protection peut être réalisé de plusieurs manières :

- **en sécurisant l'accès à la toiture** : les toitures à versants bénéficient rarement d'un accès spécifique qui pourrait être mis à profit par d'éventuels voleurs. Le cas échéant, cet accès peut être sécurisé via des échelles rabattables et verrouillables. La sécurisation d'un accès existant n'est toutefois pas suffisante pour empêcher d'accéder à la toiture par d'autres moyens
- **en sécurisant la fixation des capteurs sur la toiture** : le démontage des capteurs s'effectue au niveau des pinces de fixation sur les rails métalliques. Différents moyens existent pour rendre le démontage plus difficile, comme par exemple l'obstruction permanente de la forme de l'embout sur la tête des vis.

Bien qu'il soit impossible d'empêcher une personne déterminée d'emporter un capteur, la multiplication des moyens de protection contribue à rendre cette tâche plus difficile, plus longue et plus bruyante.

#### 4.5 PROTECTION CONTRE LE BRUIT

Les installations solaires sont généralement peu bruyantes. L'onduleur des capteurs photovoltaïques et le circulateur des capteurs thermiques peuvent cependant provoquer des nuisances sonores. Le cas échéant, il faut veiller à ce que ces dispositifs soient bien insonorisés ou ne soient pas installés dans des pièces destinées au travail ou au repos. Les percements nécessaires au passage des câbles et conduits constituent des discontinuités dans la protection acoustique qu'offre la toiture. Leur mise en œuvre doit être réalisée en tenant compte de cet aspect.

#### 4.6 ECONOMIE D'ÉNERGIE ET ISOLATION THERMIQUE

Les percements éventuels de la toiture pour le passage des câbles et des conduits constituent des discontinuités dans la couche d'isolation thermique et dans l'écran d'étanchéité à l'air. Leur mise en œuvre doit être réalisée

en tenant compte de cet aspect également (voir le § 5.3, p. 39).

Les performances énergétiques d'une installation solaire dépendent essentiellement de l'ensoleillement, de l'inclinaison et de l'orientation des capteurs, de leur température de fonctionnement et de l'ombrage. Certains des points évoqués ci-dessous ont été traités en détail au chapitre 2 (p. 7) :

- l'intensité et la durée de l'ensoleillement dépendent exclusivement du lieu d'implantation
- l'inclinaison et l'orientation des versants de toiture sont inhérentes au bâtiment. Il est possible de placer les capteurs dans une configuration différente, mais le bénéfice qui en résulterait pour la production d'énergie serait faible par rapport à la difficulté technique et au surcoût du montage; l'aspect esthétique doit aussi être pris en compte
- l'ombre empêche le rayonnement solaire direct d'atteindre les capteurs, ce qui diminue leur production. Les ombres doivent être évitées, particulièrement aux heures où l'ensoleillement est le plus important
- le rendement des capteurs solaires est sensible à la température. Dans le cas des capteurs thermiques, les pertes d'énergie du fluide caloporteur sont d'autant plus importantes que la température extérieure est basse. Une bonne isolation de la face inférieure du capteur et un placement en intégration dans la toiture doivent être privilégiés pour les capteurs plans
- le rendement des capteurs photovoltaïques diminue, en proportions variables selon les produits, lorsque la température augmente. Une libre circulation de l'air sous les capteurs permet d'évacuer une partie de la chaleur.

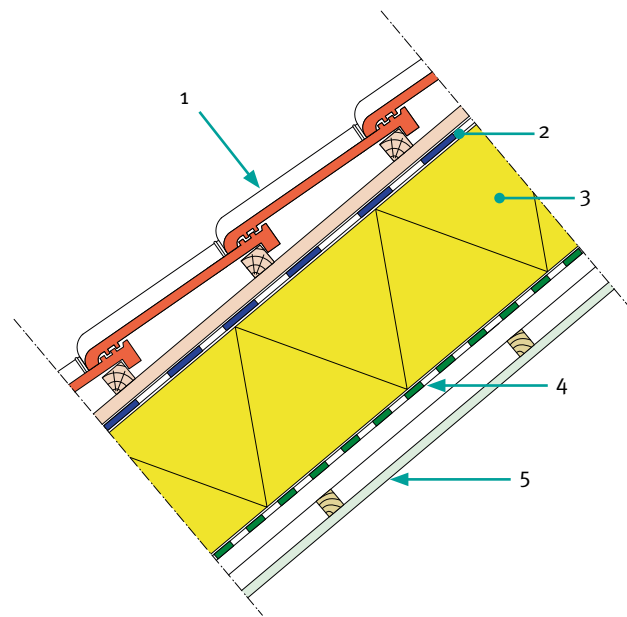
#### 4.7 UTILISATION DURABLE DES RESSOURCES NATURELLES

Le respect des règles de bonne pratique décrites dans cette Note d'information technique concourra à limiter l'impact du placement des capteurs solaires sur la durée de vie de la toiture. Si l'intégrité de chaque couche de la toiture est préservée, la durée de vie de l'ensemble demeure inchangée. Une manutention soignée des capteurs est susceptible de les prémunir contre les dommages physiques et d'assurer leur durabilité (voir également § 7.6.2, p. 49).

#### 4.8 INTÉGRITÉ DE LA TOITURE ET DE SES ACCESSOIRES

##### 4.8.1 TOITURE

L'intégrité de la toiture peut être compromise par le percement volontaire, total ou partiel, de ses couches constitutives lors de la mise en œuvre des ancrages et des passages



1. Couverture en tuiles
2. Sous-toiture
3. Isolant
4. Ecran pare-vapeur et étanchéité à l'air
5. Finition intérieure

Fig. 14 Composition d'une toiture à versants dotée d'une couverture en tuiles.

de câbles ou de conduits. Un percement peut également être pratiqué de manière involontaire à la suite d'une fausse manœuvre. Tout percement est une discontinuité qui doit être correctement traitée pour que la couche concernée puisse remplir sa fonction de manière optimale.

La grande majorité des toitures à versants est conçue selon un schéma comparable à celui représenté à la figure 14. Des informations plus détaillées à ce sujet sont fournies dans les [Notes d'information technique n° 251](#) [16], [n° 240](#) [15], [n° 225](#) [14] et [n° 195](#) [11]. Les fonctions principales des différentes couches, de l'extérieur vers l'intérieur, sont précisées ci-dessous :

- couverture : étanchéité principale à la pluie
- sous-toiture : étanchéité secondaire à la pluie et étanchéité au vent
- matériau isolant : isolation thermique
- écran pare-vapeur : étanchéité à l'air et à la vapeur.

##### 4.8.2 INFLUENCE DES CAPTEURS SOLAIRES SUR LE PLAN HYGROTHERMIQUE

Les capteurs solaires en surimpression ne devraient normalement pas influencer la diffusion de la vapeur d'eau dans le complexe de toiture, ni induire de risques supplémentaires de condensation.

En intégration et en semi-intégration, l'installation solaire peut constituer une surface étanche à la vapeur d'eau, sur laquelle l'humidité est susceptible de condenser. Cette surface étanche peut être constituée par les capteurs solaires et les raccords d'étanchéité pour un montage en intégration, ou par les panneaux de substitution pour un montage en semi-intégration. Une lame d'air ventilée située sous cette surface étanche permet d'évacuer une partie de l'humidité par convection naturelle. Néanmoins, la présence d'une sous-toiture continue et en bon état est nécessaire notamment pour récolter et évacuer les éventuels condensats. Les exigences suivantes sont d'application :

- la sous-toiture doit être raccordée au dispositif d'évacuation de l'eau de pluie
- la distance entre la surface étanche et la sous-toiture doit permettre l'écoulement des condensats et éviter les phénomènes capillaires (l'épaisseur d'une contre-latte est suffisante)
- en présence d'une sous-toiture souple, il faut veiller à ce que l'isolant ne pousse pas la sous-toiture contre la surface étanche, ce qui perturberait l'écoulement des condensats et favoriserait le transfert d'humidité vers l'isolant.

#### 4.8.3 ACCESSOIRES DE TOITURE

Le placement des capteurs solaires ne peut perturber le bon fonctionnement des accessoires installés en toiture, tels que les débouchés des conduits de fumée, les prises d'amenée ou d'évacuation d'air des systèmes de ventilation, les cheminées, les fenêtres de toit ou les gouttières.

La présence des capteurs modifie le schéma d'écoulement de l'eau de pluie en toiture. Il faut veiller à ce que l'écoulement modifié soit compatible avec les techniques d'étanchéité employées pour les accessoires. Par exemple, le bord inférieur d'un capteur solaire ne peut déborder au-dessus d'une fenêtre de toit (même si cela ne gêne pas son ouverture), au risque d'augmenter le débit d'eau et la direction de l'écoulement sur un raccord non prévu à cet effet. De même, un capteur solaire ne peut déborder au-delà d'une gouttière, pour éviter notamment que l'eau de ruissellement n'aboutisse directement au pied du bâtiment.

# 5

## MISE EN ŒUVRE

Ce chapitre présente les règles de bonne pratique pour le montage des capteurs solaires en surimposition et en intégration. Ces règles s'appliquent sans restriction aux capteurs thermiques et photovoltaïques.

### 5.1 FIXATION MÉCANIQUE DES CAPTEURS SOLAIRES EN SURIMPOSITION

Les capteurs sont fixés dans la charpente au moyen d'ancrages dont le nombre et l'emplacement sont fonction de la structure de la charpente et de la charge exercée par les capteurs. La structure de la charpente détermine les endroits où il est physiquement possible de placer un ancrage. Des rails métalliques, utilisés comme structure intermédiaire, permettent de répartir la charge exercée par les capteurs et de disposer de plus de liberté pour positionner les ancrages.

Le placement des rails, parallèlement ou perpendiculairement à la pente de la toiture, conditionne le mode de pose des capteurs, 'en portrait' ou 'en paysage' (cf. figure 15). Un système croisé de rails, parallèles et perpendiculaires à la

pente, permet d'augmenter la liberté de montage, mais induit une hauteur d'implantation plus importante par rapport à la couverture.

Une installation solaire doit être conçue comme un ensemble dont tous les éléments sont compatibles : capteurs, pinces de fixation des capteurs sur les rails, rails métalliques et crochets de fixation des rails dans la charpente. L'assemblage des éléments doit être réalisé selon les consignes du fabricant; leur dimensionnement n'est pas traité dans ce document. Un fabricant pourrait ainsi proposer des rails métalliques plus rigides, qui nécessiteraient moins de crochets pour l'ancrage dans la charpente. Dans ce cas, la charge reprise par chaque crochet serait plus importante.

Par contre, le dimensionnement des moyens de fixation des crochets dans la charpente est détaillé dans le **module de calcul** disponible sur le site Internet du CSTC (rubrique 'Outils de calcul'). Cet outil permet, par exemple, de déterminer le nombre et le diamètre des vis ou des tire-fonds nécessaires pour chaque crochet, selon la configuration de l'installation solaire.

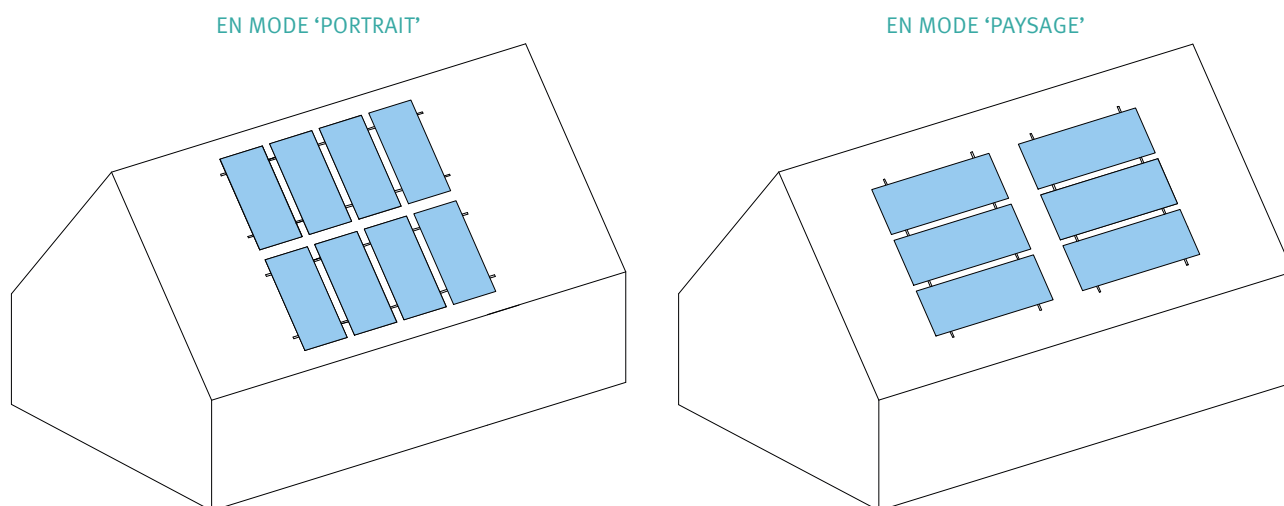


Fig. 15 Montage des capteurs solaires selon la configuration des rails.

Les exigences générales suivantes sont d'application pour tous types d'ancrages :

- les dispositifs d'ancrage sont fixés mécaniquement dans la charpente ou dans un élément suffisamment résistant, lui-même fixé dans la charpente
- les dispositifs d'ancrage sans fixation mécanique et les assemblages cloués ne conviennent pas pour le montage de capteurs solaires
- les dispositifs d'ancrage ne peuvent modifier la position, l'emboîtement ou le recouvrement des éléments de couverture
- ils ne peuvent exercer de pression, permanente ou occasionnelle, sur les éléments de couverture, sauf s'il s'agit de dispositifs fixés sur le joint en relief des couvertures en feuilles métalliques
- ils doivent être fabriqués dans un matériau adapté à un usage prolongé en toiture, selon les exigences du chapitre 6 (p. 43).

### 5.1.1 COUVERTURES EN PLAQUES ONDULÉES OU EN TÔLES PROFILÉES

Les rails métalliques de l'installation solaire peuvent être fixés dans la charpente à l'aide de goujons, qui remplacent localement certains tire-fonds utilisés pour fixer les plaques ondulées (cf. figure 16) ou les tôles profilées. Deux exemples de goujons sont illustrés à la figure 17. L'exemple de gauche montre un goujon, équipé d'une rondelle d'étanchéité en

EPDM, adapté à la fixation de plaques ondulées dans une charpente en bois. Pour assurer l'étanchéité, il faut veiller à ce que la rondelle d'EPDM soit légèrement comprimée sans être écrasée. L'exemple de droite montre un goujon, utilisé pour la fixation de tôles profilées dans une charpente métallique, équipé d'un dispositif d'étanchéité spécifiquement adapté à la forme et aux dimensions du profil de la tôle.

Lors du remplacement d'un tire-fond fixé dans une charpente en bois par un goujon, les fibres du bois peuvent être abîmées, ce qui réduit la résistance du nouvel assemblage. En cas de doute, il est recommandé d'utiliser un goujon d'un diamètre supérieur à celui du tire-fond présent initialement. On veillera néanmoins à ce que le diamètre du trou dans la plaque ondulée soit environ 3 mm plus grand que le diamètre du goujon, pour permettre une certaine liberté de mouvement sans endommager la plaque ondulée.

Une certaine liberté de mouvement est nécessaire au niveau du passage du goujon à travers la plaque ondulée, pour permettre notamment la dilatation thermique des rails métalliques. L'utilisation d'une platine de montage, entre les goujons et les rails, telle que représentée à la figure 16, permet de reprendre une partie de la dilatation thermique de l'installation via une légère rotation de la platine sur le goujon. Le passage du goujon à travers la plaque ondulée est ainsi rendu moins critique.



Fig. 16 Fixation de capteurs solaires à l'aide de goujons sur des plaques ondulées.

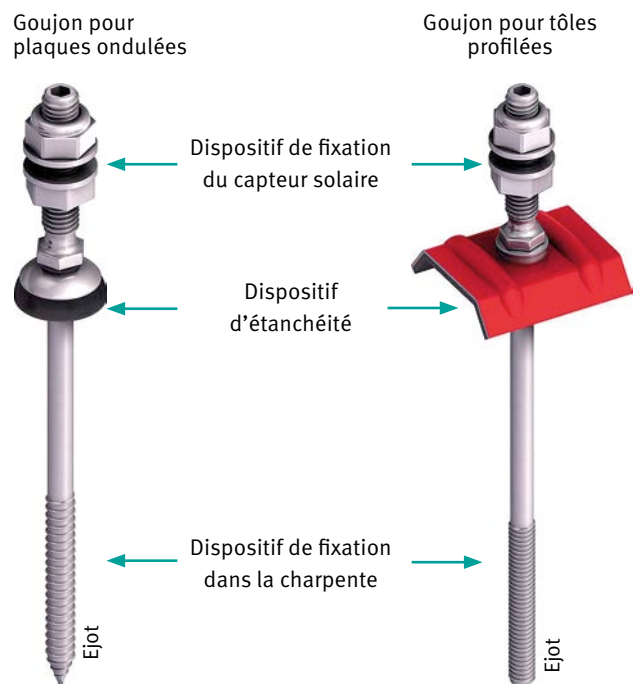


Fig. 17 Exemples de goujons équipés d'une pièce d'étanchéité.



Fig. 18 Autre dispositif de fixation pour plaques ondulées et tôles profilées.

Il existe d'autres dispositifs qui permettent de fixer les capteurs solaires dans la charpente et qui n'induisent pas ou peu de sollicitations supplémentaires sur les plaques ondulées, tout en procurant une bonne stabilité. Un exemple est présenté à la figure 18. Il convient d'éviter le contact direct entre les arêtes vives des dispositifs de fixation et les plaques ondulées, par exemple en y intercalant des éléments souples.

## 5.1.2 COUVERTURES EN TUILES OU EN ARDOISES

### 5.1.2.1 Crochets de fixation

Les rails métalliques de l'installation solaire sont généralement fixés dans la charpente à l'aide de crochets. Ceux-ci passent par le recouvrement entre deux rangées successives d'éléments de couverture. La forme et les dimensions des crochets sont choisies en fonction de l'épaisseur des lattes et de la forme et des dimensions des tuiles ou des ardoises.

Différents types de crochets sont disponibles dans le commerce; quelques exemples sont illustrés à la figure 19. Les crochets peuvent également être confectionnés sur mesure selon les spécificités du chantier.

Les crochets doivent être suffisamment rigides pour supporter les efforts transmis par l'installation solaire sans subir de déformations excessives, qui pourraient les mettre en contact avec les éléments de couverture situés à proximité.

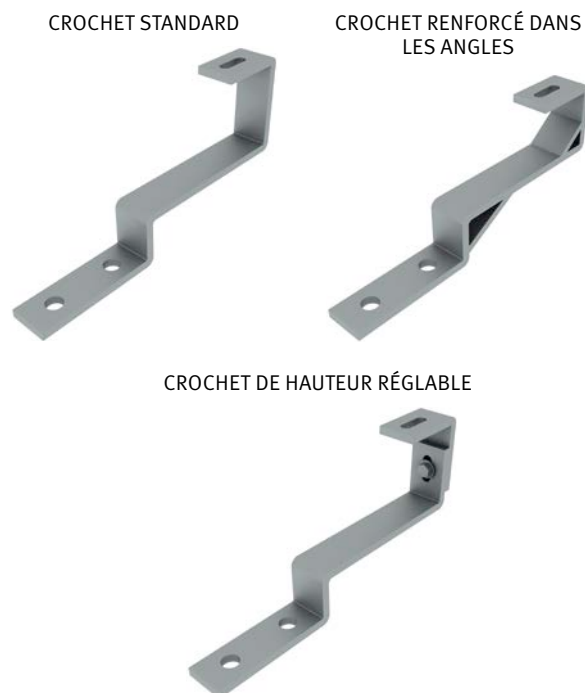


Fig. 19 Quelques exemples de crochets de fixation pour installations solaires.

A titre informatif, les crochets en acier inoxydable ont généralement une épaisseur comprise entre 5 mm et 8 mm, selon leur longueur et les charges rencontrées. Leur longueur est d'ordinaire comprise entre 100 et 300 mm. Une épaisseur de 8 mm sera principalement utilisée en altitude, sous des charges de neige élevées.

### Calcul de la déformation des crochets de fixation

La déformation d'un crochet peut être estimée à l'aide de la formule théorique de la déformation d'une poutre encastrée selon la représentation donnée à la figure 20. On suppose une poutre de longueur 'L', de largeur 'b' et d'épaisseur 'h' encastrée à une extrémité, et une charge 'F' appliquée à une distance 'a' de l'encastrement. Bien que cette hypothèse ne soit pas rigoureusement exacte, notamment au niveau de l'encastrement, elle permet néanmoins d'obtenir une valeur réaliste de la déformation.

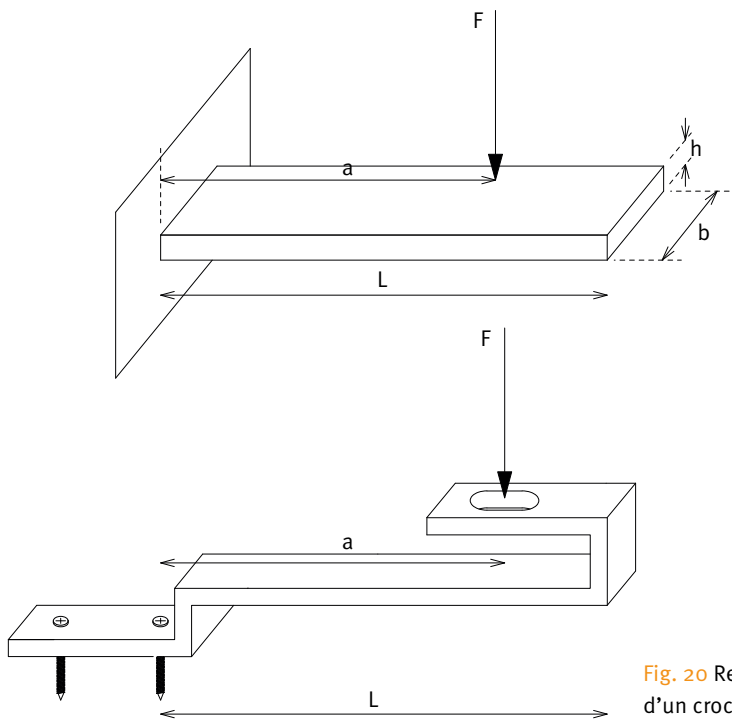


Fig. 20 Représentation schématique de la déformation d'un crochet de fixation (dimensions en mètres).

La formule de la déformée verticale ( $y$ ) du crochet en fonction de la distance horizontale ( $x$ ) par rapport à l'encastrement s'exprime de la manière suivante :

$$y = \frac{Fx^2}{6EI}(x - 3a) \text{ lorsque } x \leq a$$

$$y = \frac{Fa^2}{6EI}(a - 3x) \text{ lorsque } x > a$$

avec  $F$  la charge exercée, en newtons,  $E$  le module d'élasticité (203 GPa pour l'acier inoxydable ou ordinaire, 69 GPa pour l'aluminium) et  $I$  le moment d'inertie de la poutre, soit :  $I = \frac{bh^3}{12}$ .

Pour un crochet en acier inoxydable d'une largeur de 30 mm, la déformée est calculée au tiers, aux deux-tiers ainsi qu'à l'extrémité du crochet. On considère que la charge  $F$  est exercée aux trois-quarts de la longueur :

- pour un crochet de 15 cm de long et 5 mm d'épaisseur, les déformées sont respectivement de 0,8 mm; 2,7 mm et 4,9 mm sous une charge de 44 kg
- pour un crochet de 20 cm de long et 5 mm d'épaisseur, les déformées sont respectivement de 0,8 mm; 2,7 mm et 4,8 mm sous une charge de 18 kg
- pour un crochet de 30 cm de long et 5 mm d'épaisseur, les déformées sont respectivement de 0,8 mm; 2,5 mm et 4,5 mm sous une charge de 5 kg
- pour un crochet de 30 cm de long et 8 mm d'épaisseur, les déformées sont respectivement de 0,8 mm; 2,8 mm et 5 mm sous une charge de 23 kg.

On constate que la charge maximale permettant de rester sous la déformation limite de 5 mm dépend fortement de la longueur de crochet et de son épaisseur. Il est donc recommandé d'employer les crochets les plus courts possible.

■ Fixation dans une charpente en bois

Les assemblages d'éléments structurels en bois doivent être réalisés selon les exigences décrites dans l'Eurocode NBN EN 1995-1-1 [2] ainsi que dans CSTC-Contact 2013/1 [9]. Ces exigences sont plus strictes que celles qui s'appliquent à l'assemblage de structures secondaires en bois comprenant la fixation de crochets pour installations solaires dans la charpente. Néanmoins, en l'absence d'essais spécifiques ou d'indications des fabricants, il est recommandé de s'y conformer dans la mesure du possible.

Les documents susmentionnés précisent la distance à respecter entre l'axe de la vis et le bord de l'élément en bois ainsi que la pénétration minimale de la vis dans l'élément en bois. Ces distances sont présentées au tableau 1. La distance de pénétration concerne uniquement l'élément qui reprend la charge. Par exemple, lorsqu'un crochet est fixé dans un élément de la charpente à travers une contre-latte, l'épaisseur de la contre-latte ne peut pas être prise en compte.

Idéalement, un crochet est positionné au droit d'un élément de la charpente et fixé dans celui-ci à travers la contre-latte, comme représenté à la figure 21. Cette situation est courante dans le cas des tuiles plates ou des ardoises, pour lesquelles la position du crochet peut être choisie librement, sans devoir tenir compte de leur forme.

Tableau 1 Distances minimales à respecter entre les vis et les bords des éléments en bois.

Diamètre nominal des vis	Distance minimale entre l'axe de la vis et le bord de l'élément en bois	Pénétration minimale dans l'élément en bois
$d \leq 6$ mm sans avant-trou	5d	6d
$d \leq 6$ mm avec avant-trou	3d	
$d > 6$ mm (avant-trou exigé) (*)		
(*) Certains types de vis ou de tire-fonds dits autoforants permettent de déroger à la règle de l'avant-trou, selon les consignes du fabricant.		

Lorsque la tuile présente une ondulation, il est nécessaire que le creux de l'onde se situe au droit d'un élément de charpente (figure 21), afin que le crochet puisse être positionné à cet endroit. Si ce n'est pas le cas, il convient de déporter le crochet pour le positionner face au creux de l'onde, par exemple à l'aide d'un élément intermédiaire de fixation tel qu'une volige en bois ou un profilé métallique (figure 22, p. 24). La volige ou le profilé est fixé sur plusieurs chevrons successifs. Cette solution, bien que nécessitant un travail de mise en œuvre plus important, présente certains avantages :

- le crochet peut être positionné librement, indépendamment de la charpente
- la charge transmise par les crochets est reprise par plu-

(suite du texte en page 25)

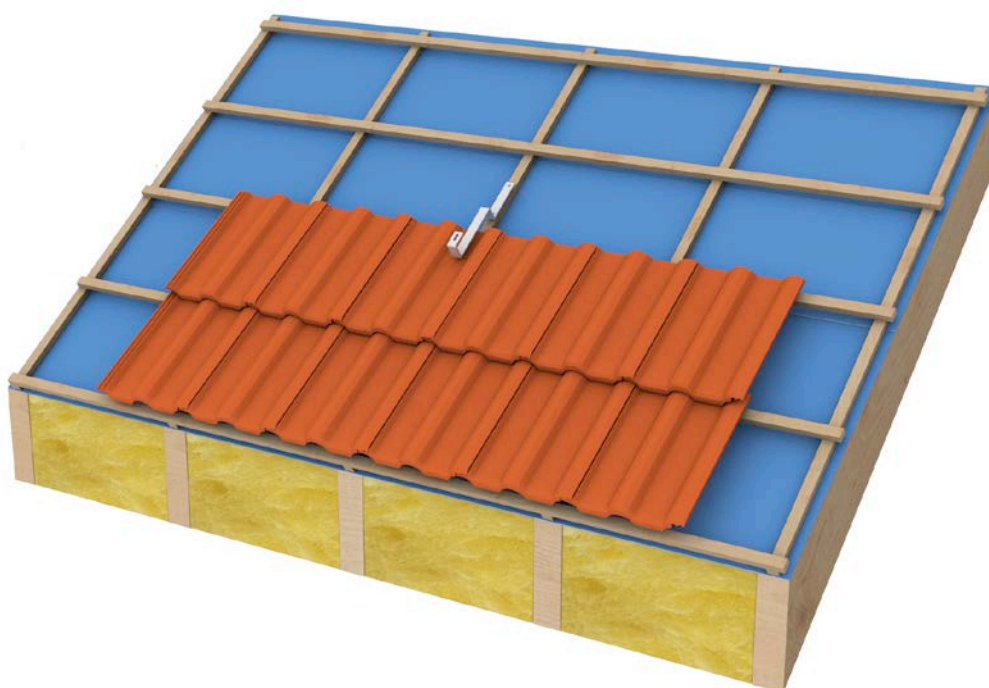


Fig. 21 Fixation d'un crochet au droit d'un élément de la charpente.

## A. FIXATION DANS UNE VOLIGE



## B. FIXATION DANS UN PROFILÉ MÉTALLIQUE



Fig. 22 Fixation d'un crochet dans un élément intermédiaire.

(suite de la page 23)

sieurs chevrons successifs, ce qui permet de multiplier les points d'ancrage et d'augmenter la sécurité de l'assemblage, par exemple lorsque la section des chevrons est faible et que les exigences du tableau 1 (p. 23) sont difficiles à respecter.

Il est important de noter que l'effort que doivent être capables de reprendre les ancrages des profilés supplémentaires (voliges ou rails métalliques) dans la charpente doit être au moins égal à la somme des efforts repris par les ancrages des crochets fixés sur un profilé. L'usage de ces profilés ne permet donc pas de réduire l'effort sur la charpente, mais bien de le répartir. Il est par exemple possible, de cette manière, de réduire le diamètre des vis, afin de respecter les exigences du tableau 1 (p. 23), mais d'en placer davantage, pour conserver une résistance globale identique ou supérieure.

La rigidité du profilé supplémentaire doit être adaptée à l'écartement entre les chevrons, qui peut atteindre 1 m. Dans le cas d'une volige, il est possible d'accroître sa rigidité en augmentant sa largeur et son épaisseur. Dans la pratique, son épaisseur est limitée par celle des autres lattes (litageaux) et par la nécessité de positionner correctement les tuiles ou les ardoises par-dessus la volige. Dans le cas d'ardoises, il n'est clairement pas envisageable de déroger à cette règle. Pour certaines tuiles, une surépaisseur peut être mise en œuvre, mais il ne sera plus possible, dans ce cas, de repousser les tuiles vers le haut lors d'une future intervention en toiture. Lorsque l'épaisseur de la volige est insuffisante pour utiliser des vis ou des tire-fonds, selon les critères du

tableau 1 (p. 23), le crochet peut être boulonné à la volige. On peut également employer un crochet muni d'une platine large, qui permet de multiplier le nombre de vis et de réduire leur diamètre et leur longueur, tel que représenté à la figure 24.

Les crochets à platine large ne sont pas conçus pour régler la position du crochet par rapport aux chevrons de la charpente (figure 23). Cette utilisation entraîne un couple au niveau de l'ancrage qui n'est pas prévu dans le dimensionnement.

Pour une épaisseur identique, un profilé métallique aura une plus grande rigidité qu'une volige en bois. Des systèmes tels que celui illustré à la figure 25 (p. 26) permettent d'ajuster la position du crochet sur le rail. Ces systèmes sont néanmoins plus coûteux qu'une volige en bois.

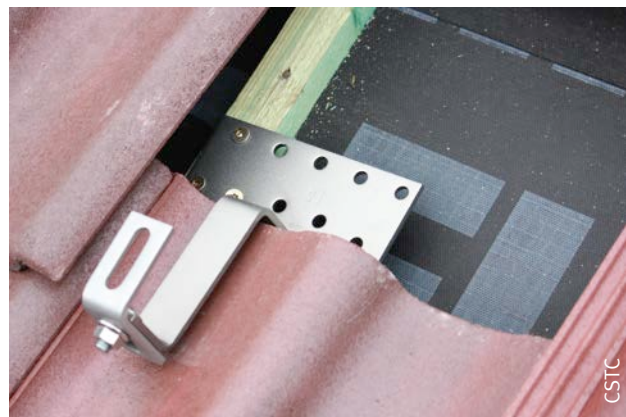


Fig. 23 Usage non recommandé d'un crochet à platine large.



Fig. 24 Fixation d'un crochet équipé d'une platine large, permettant d'employer davantage de vis d'un diamètre inférieur.



G. Pierrard

Fig. 25 Crochet situé sur un rail coulissant.

#### ■ Adaptation des tuiles

Il existe une grande diversité parmi les tuiles existantes, tant du point de vue de leur forme et de leurs dimensions que du matériau ou du type de recouvrement ou d'emboîtement. Toutes ne se prêtent pas avec la même facilité au montage des crochets pour installations solaires.

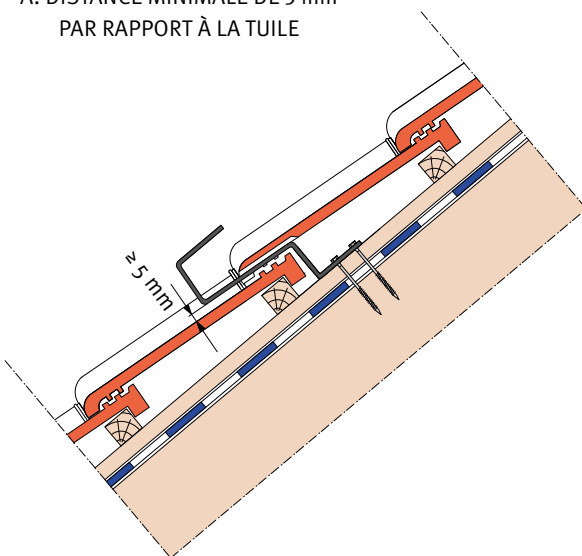
En conditions normales de service, qui comprennent les charges de vent, de neige et le poids propre, un crochet ne peut entrer en contact avec la tuile située en dessous de lui. Comme les crochets se déforment sous l'effet de la charge, leur mise en œuvre doit s'effectuer en tenant compte d'une distance minimale de 5 mm par rapport à la tuile (cf. figure 26A). Cette distance doit être prise à l'endroit le plus critique, qui n'est pas forcément situé à l'extrémité du crochet. Considérée comme suffisante en l'absence d'essai, elle peut cependant être adaptée selon les cas. Par exemple, lorsque la charge de neige est très importante, il est possible d'utiliser des crochets plus rigides, mais également de remplacer la tuile située sous le crochet par une tuile métallique, capable de résister à un éventuel contact avec le crochet sans se briser (figure 26B).

La distance minimale de 5 mm est obtenue grâce au choix de la forme et des dimensions du crochet. Si la présence du crochet crée un problème d'emboîtement des tuiles, la tuile qui repose sur le crochet peut être adaptée. Par contre, il n'est pas admis de modifier la tuile située sous le crochet.

Lorsque la forme de la tuile située en amont du crochet le permet, par exemple dans le cas d'une tuile plate avec un nez important, celui-ci peut être légèrement meulé pour permettre le passage du crochet (figure 27). Si la tuile est suffisamment épaisse, elle peut être amincie au droit du crochet.

Il est déconseillé d'enlever plus de la moitié de l'épaisseur de la tuile qui repose sur le crochet. Lorsque la tuile est trop mince pour être meulée selon cette règle, sa partie en contact avec le crochet peut être supprimée et un raccordement étanche doit être mis en œuvre (cf. figure 28). Bien que

A. DISTANCE MINIMALE DE 5 mm  
PAR RAPPORT À LA TUILE



B. POSE D'UNE TUILE MÉTALLIQUE



Fig. 26 Distance minimale entre le crochet et la tuile en aval.

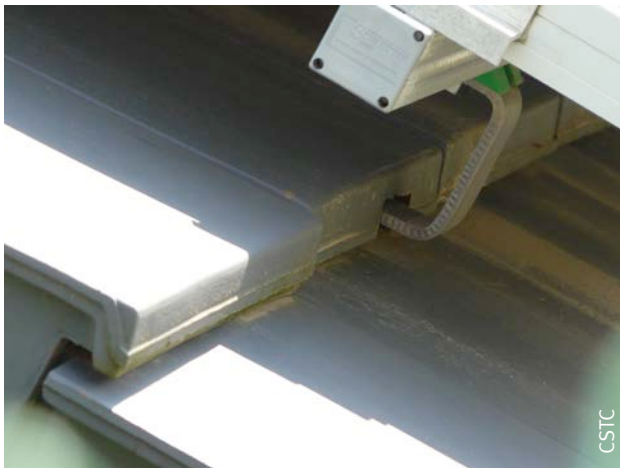


Fig. 27 Adaptation d'une tuile au passage d'un crochet.

la continuité de la couverture soit interrompue et que la tuile perde sa fonction d'étanchéité, elle permet néanmoins d'assurer un bon emboîtement avec les tuiles adjacentes et doit être conservée. Une feuille métallique ou une membrane synthétique résistant aux UV est placée au-dessus du crochet pour assurer l'étanchéité. Idéalement, la feuille métallique présente un repli de 15 mm de long sur ses flancs, pour éviter l'écoulement de l'eau de pluie au-delà de la feuille. Lorsque les feuilles métalliques ou les membranes synthétiques sont susceptibles de s'affaisser avec le temps (feuille de plomb, par exemple), elles doivent être maintenues par une forme placée en dessous.

Le meulage de la tuile est une opération délicate qui doit être réalisée soigneusement si l'on ne veut pas courir le risque de la fragiliser. Cette solution ne doit être envisagée que lorsque les autres options décrites plus haut ne donnent pas de résultats satisfaisants.

#### ■ Adaptation des ardoises

Les ardoises sont trop plates et trop fines pour permettre le passage d'un crochet sans adaptation. La mise en œuvre d'un crochet est illustrée à la figure 29 et décrite ci-dessous :

- une première feuille métallique est fixée sous le futur emplacement du crochet; le crochet est ancré dans la charpente ou dans un profilé à travers la feuille métallique (figure 29A, p. 28)
- les ardoises sont adaptées à proximité du crochet (figure 29B)
- une seconde feuille métallique est placée au-dessus du crochet et ajustée à la forme de celui-ci pour améliorer l'étanchéité (figure 29C)
- les ardoises supérieures sont remises en place et, si nécessaire, sont adaptées pour contourner le crochet (figure 29D).

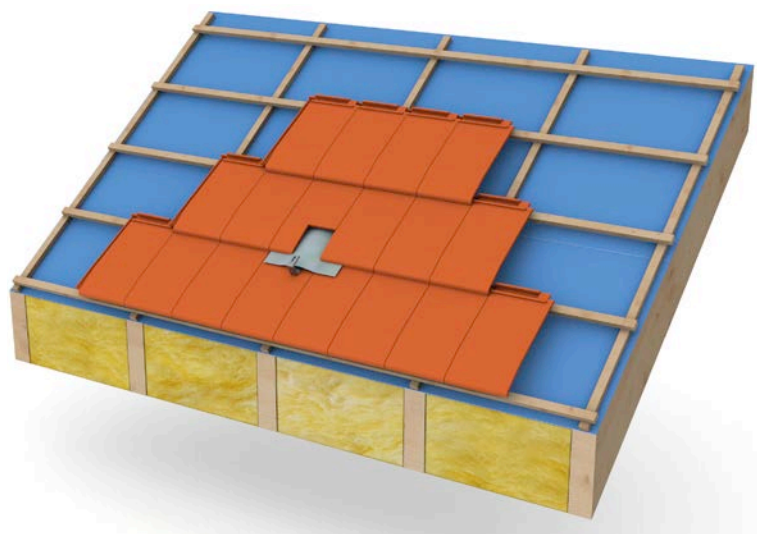
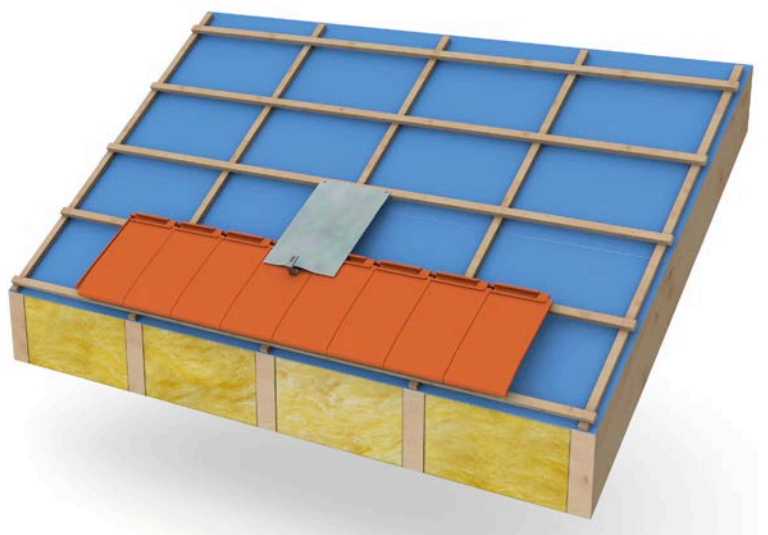
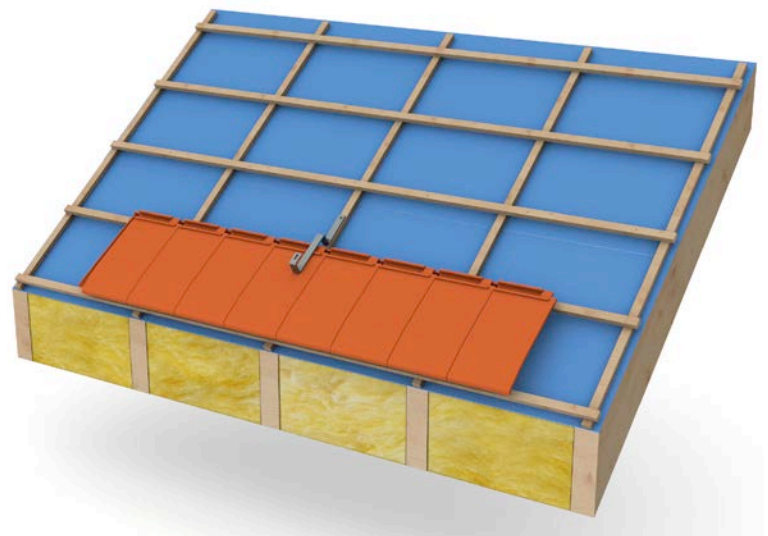
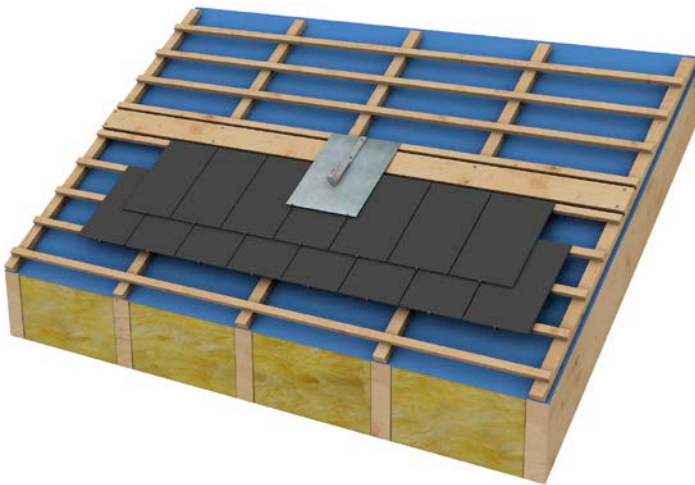
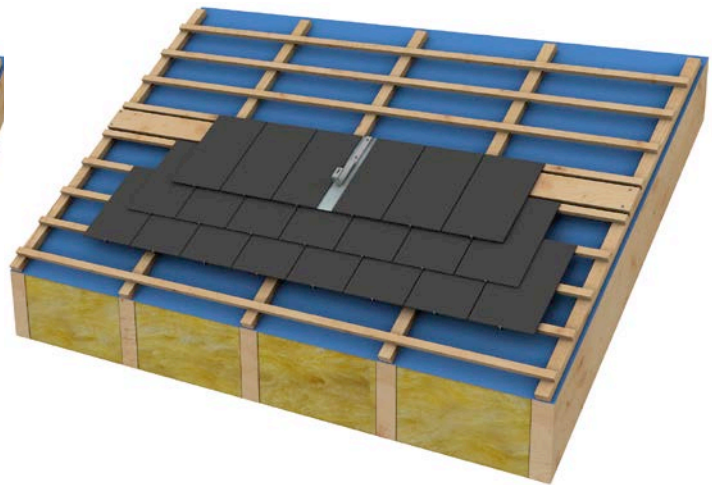
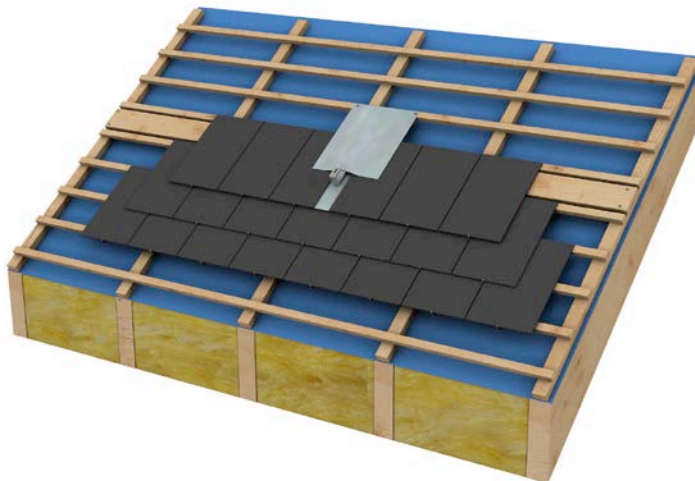


Fig. 28 Adaptation d'une tuile au passage d'un crochet.

A. POSE DE LA 1<sup>ère</sup> FEUILLE MÉTALLIQUE

B. ADAPTATION DES ARDOISES À PROXIMITÉ DU CROCHET

C. POSE DE LA 2<sup>e</sup> FEUILLE MÉTALLIQUE

D. POSE DES ARDOISES SUPÉRIEURES

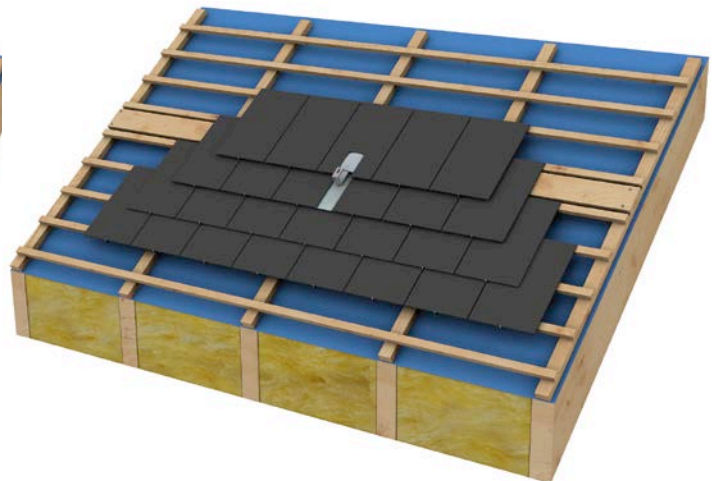


Fig. 29 Mise en œuvre correcte d'un crochet de capteur solaire sur une couverture en ardoises.

### 5.1.2.2 Autres systèmes de fixation

Le principal inconvénient d'un crochet de fixation est le bras de levier résultant de la distance entre le point d'ancrage dans la charpente et le point de fixation du capteur sur le crochet. Ce bras de levier est à l'origine du couple exercé au niveau de l'ancrage et d'une déformation du crochet qui doit rester limitée pour ne pas endommager la couverture. Certains systèmes de fixation n'utilisent pas les recouvrements entre les éléments de couverture pour faire la liaison entre la charpente et l'installation solaire. Ils traversent directement la couverture, perpendiculairement au plan de la toiture, ce qui élimine le bras de levier (figure 30). Un raccord étanche est cependant nécessaire au niveau du percement. Bien que potentiellement intéressants, ces systèmes sont relativement méconnus en Belgique. Il est dès lors difficile de se prononcer sur la durabilité de leur étanchéité.



Fig. 30 Exemple de système de fixation directe sans bras de levier.

### 5.1.3 COUVERTURES EN ZINC À JOINTS DEBOUT

Nous décrivons ici deux méthodes de fixation des capteurs solaires sur une couverture en zinc. La première nécessite la découpe d'une feuille métallique permettant une fixation directe dans les voliges ou dans les chevrons. La seconde fait usage de pinces qui viennent se fixer sur la saillie des joints debout. Dans les deux cas, les règles suivantes doivent être respectées :

- ne pas abîmer les feuilles métalliques
- ne pas entraver leur mouvement de dilatation et de retrait
- faire usage de matériaux compatibles du point de vue électrochimique.

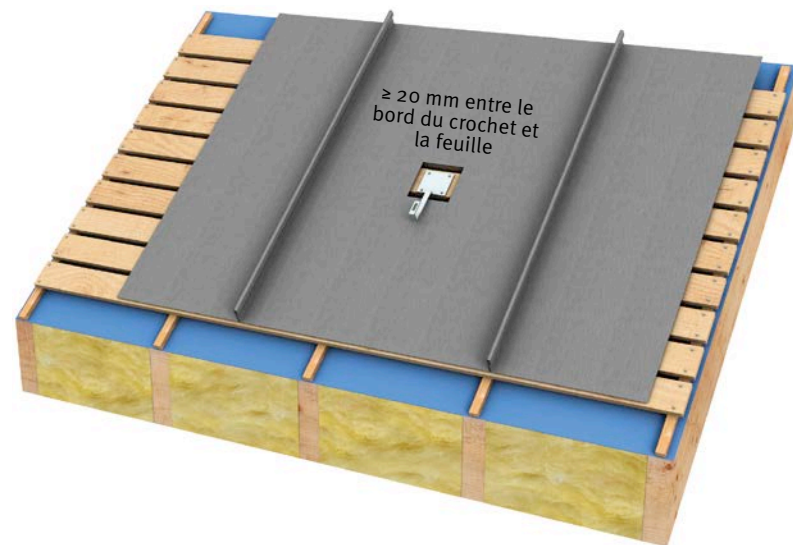
Le problème principal lié à la fixation des capteurs solaires sur ce type de couverture réside dans la difficulté de déterminer la configuration de la structure sous-jacente à la couverture (écartement entre les chevrons, épaisseur des voliges, etc.) ainsi que la manière dont cette structure est assemblée (nombre de clous ou de vis, par exemple). Une autre difficulté consiste à définir le nombre de pattes de fixation, fixes et mobiles, des feuilles métalliques dans cette structure. Lorsque ces caractéristiques sont connues, il est possible d'évaluer si la structure est capable de supporter la contrainte supplémentaire engendrée par les panneaux solaires.

Pour la première méthode de fixation, une feuille métallique est découpée, afin de permettre la fixation d'un crochet dans les chevrons ou dans les voliges/panneaux, lorsque ceux-ci le permettent. La découpe dans la feuille métallique doit être suffisamment grande de manière à laisser un espace libre d'au moins 20 mm entre le bord du crochet et la feuille (voir figure 31A) et à permettre sa dilatation. Un capot est ensuite placé par-dessus la découpe et fixé sur la feuille métallique de manière étanche, par exemple par soudage ou par collage. Il est ajusté autour du crochet pour éviter les remontées d'eau sous l'effet du vent. Il doit assurer un recouvrement fixé à au moins 150 mm ou calculé selon la formule  $30 + 30/\sin(\alpha)$  mm, conformément aux recommandations de la [Note d'information technique n° 240](#) [15]. Cette méthode permet de fixer directement les capteurs dans la structure de la charpente, mais nécessite une quantité de travail importante pour chaque élément de fixation.

La seconde méthode consiste à fixer des pinces spécifiques sur la saillie formée par les joints debout. Elle n'est à envisager qu'en tenant compte des réserves suivantes :

- les pinces sont destinées à transmettre les efforts de traction exercés par le vent sur les capteurs, ainsi que l'effort de glissement des capteurs vers l'aval de la toiture en raison de leur poids propre et des charges de neige. Ces efforts sont repris *in fine* par les pattes fixes du joint debout

#### A. DÉCOUPE D'UNE FEUILLE MÉTALLIQUE



#### B. PLACEMENT D'UN CAPOT PAR-DESSUS LA DÉCOUPE

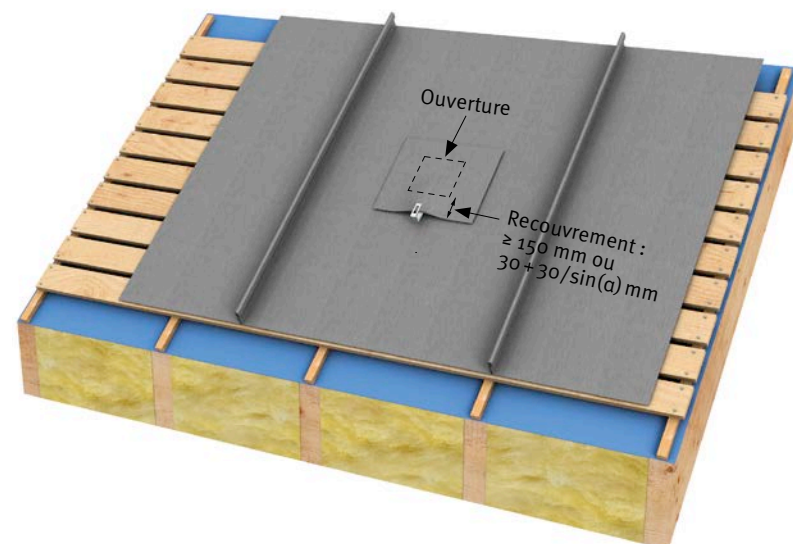


Fig. 31 Placement d'un crochet sur une couverture métallique.

- les pinces ne peuvent pas abîmer les feuilles métalliques, que ce soit lors de la mise en dépression de la toiture sous l'effet du vent ou lors des mouvements de dilatation thermique, au risque de provoquer des déchirures et une perte d'étanchéité de la couverture. Elles ne peuvent ni entraver la dilatation des feuilles métalliques en pied de joint, ni poinçonner le joint au niveau du sertissage.

Un exemple de pince est représenté à la figure 32 (p. 30). Le schéma de droite montre une pince qui exerce une pression directement sous le repli du joint debout et qui donne une certaine liberté de mouvement aux deux feuilles métalliques à la base du joint. Le schéma de gauche montre une pince

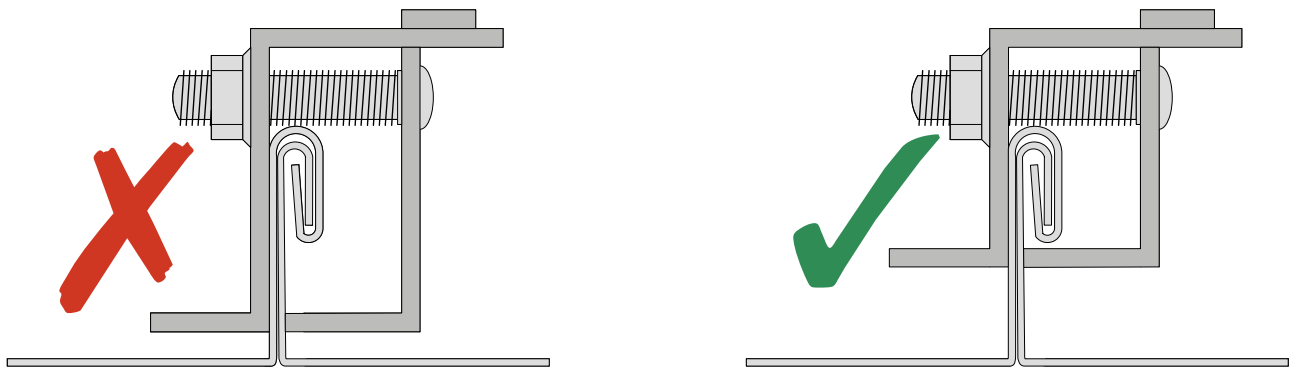


Fig. 32 Pincés pour la fixation des capteurs solaires sur des joints debout.

qui exerce une pression à la base du joint et qui donne peu ou pas de liberté de mouvement aux feuilles métalliques, ce qui induit des tensions plus élevées et augmente le risque de déchirure.

Cette technique permet *a priori* de réaliser facilement le montage des capteurs sur une couverture à joints debout. Il est toutefois indispensable de consulter le fabricant de la couverture au sujet du choix des pincés et de leur position, afin d'obtenir des informations suffisantes quant la compatibilité des systèmes.

Pour la mise en œuvre, on peut se référer aux prescriptions en vigueur en Belgique, qui prévoient au moins deux pattes fixes de fixation par joint en tête de couverture (cf. NIT 'Couvertures métalliques', en préparation). Toutefois, il est impossible d'établir si la couverture a bien été réalisée selon ces prescriptions.

#### 5.1.4 TOITURE SARKING

Dans le cas d'une toiture de type sarking, la charpente est située sous une couche d'isolant parfois épaisse, ce qui complique la fixation mécanique des capteurs solaires. Les contre-lattes utilisées pour ces toitures sont plus épaisses et plus larges (30 mm x 50 mm ou 40 mm x 60 mm, par exemple) que pour les toitures classiques, ce qui permet d'y fixer directement les crochets de l'installation solaire, pour autant que les critères du tableau 1 (p. 23) soient respectés. Les crochets peuvent également être fixés dans un élément suffisamment résistant, lui-même fixé dans la contre-latte (cf. § 5.1.2.1, p. 21, et figure 33).

Il est nécessaire de vérifier, par exemple auprès du fabricant du système sarking, que le nombre de vis ou de tire-fonds fixant les contre-lattes dans la charpente est suffisant

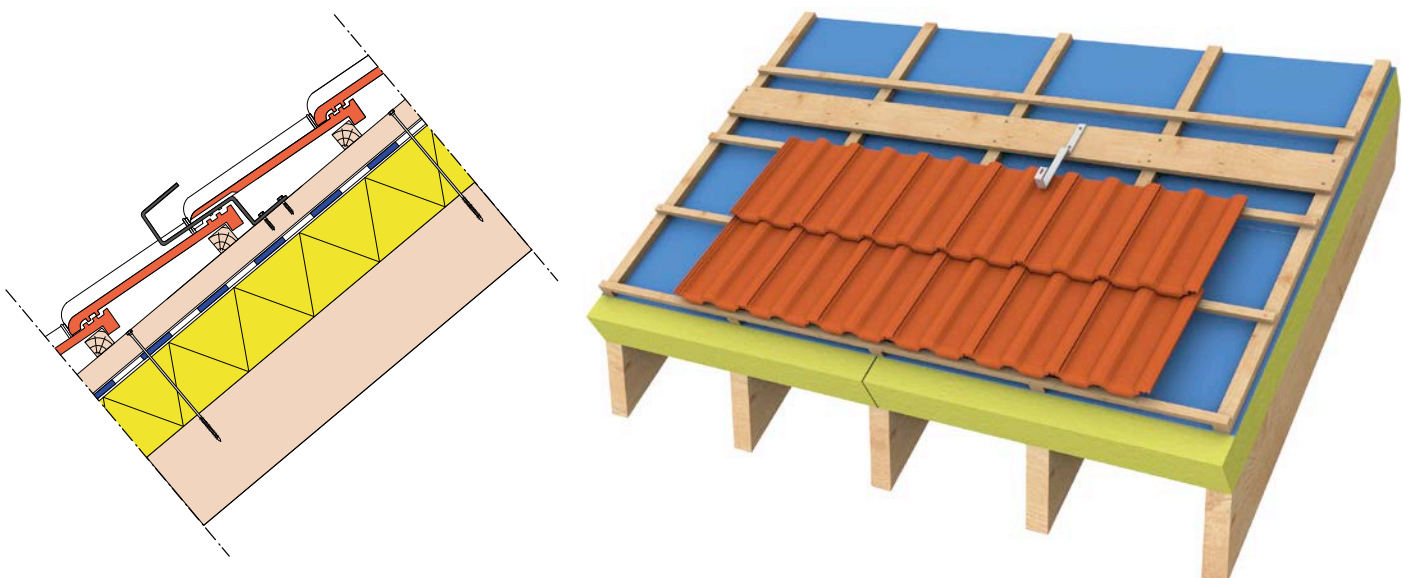


Fig. 33 Fixation d'un crochet dans les contre-lattes d'une toiture de type sarking.

pour supporter la charge supplémentaire engendrée par les capteurs solaires. Cette charge peut être estimée à l'aide de l'**outil de calcul** disponible sur le site Internet du CSTC (rubrique 'Outils de calcul'). En cas de doute, il est toujours possible d'ajouter des vis ou tire-fonds supplémentaires pour renforcer la fixation des contre-lattes dans la charpente. Il est déconseillé de fixer des capteurs solaires sur une toiture sarking qui n'aurait pas été conçue selon les recommandations de la **Note d'information technique n° 251** [16].

### 5.1.5 DISTANCE ENTRE LES RAILS DE LA STRUCTURE INTERMÉDIAIRE ET LA COUVERTURE

Lorsque des feuilles mortes sont susceptibles de tomber en abondance sur la couverture, il faut prévoir une distance suffisante par rapport aux rails de la structure intermédiaire, pour que ces feuilles puissent être évacuées. L'accumulation de feuilles mortes à cet endroit risque en effet de perturber l'écoulement normal de l'eau et de provoquer des infiltrations.

Pour des rails positionnés perpendiculairement à la pente de la toiture, il est recommandé de maintenir un espace d'au moins 50 mm par rapport à la couverture (cf. figure 34A). Si les éléments de couverture présentent une ondulation, cette distance doit être prise entre le rail et le fond de l'onde. Une distance d'au moins 20 mm doit également être maintenue entre le rail et le sommet de l'onde. Pour des rails positionnés selon la pente de la toiture, une

distance de 20 mm doit être maintenue par rapport à la couverture (figure 34B).

## 5.2 MONTAGE EN INTÉGRATION SUR DES COUVERTURES EN TUILES OU EN ARDOISES

Le montage en intégration répond essentiellement à des motifs esthétiques. Il permet de réduire le décalage entre le plan de la toiture et le plan des capteurs.

Les capteurs solaires et le système d'étanchéité doivent être conçus spécifiquement pour un montage en intégration. En effet, même si un dispositif d'étanchéité peut être adapté sur des capteurs existants, rien ne garantit que le capteur lui-même soit suffisamment étanche pour servir d'élément de couverture.

### 5.2.1 POSITIONNEMENT DES CAPTEURS DANS LA TOITURE

Il est tout d'abord recommandé de tenir compte des éventuelles contraintes d'accessibilité de la toiture (cf. § 4.4.2, p. 15). Il peut également s'avérer intéressant de positionner les capteurs à proximité du faîte du toit, afin de limiter la quantité d'eau de ruissellement provenant de la couverture en amont et transitant par les raccords d'étanchéité. Cette situation est illustrée à la figure 35 (p. 32).

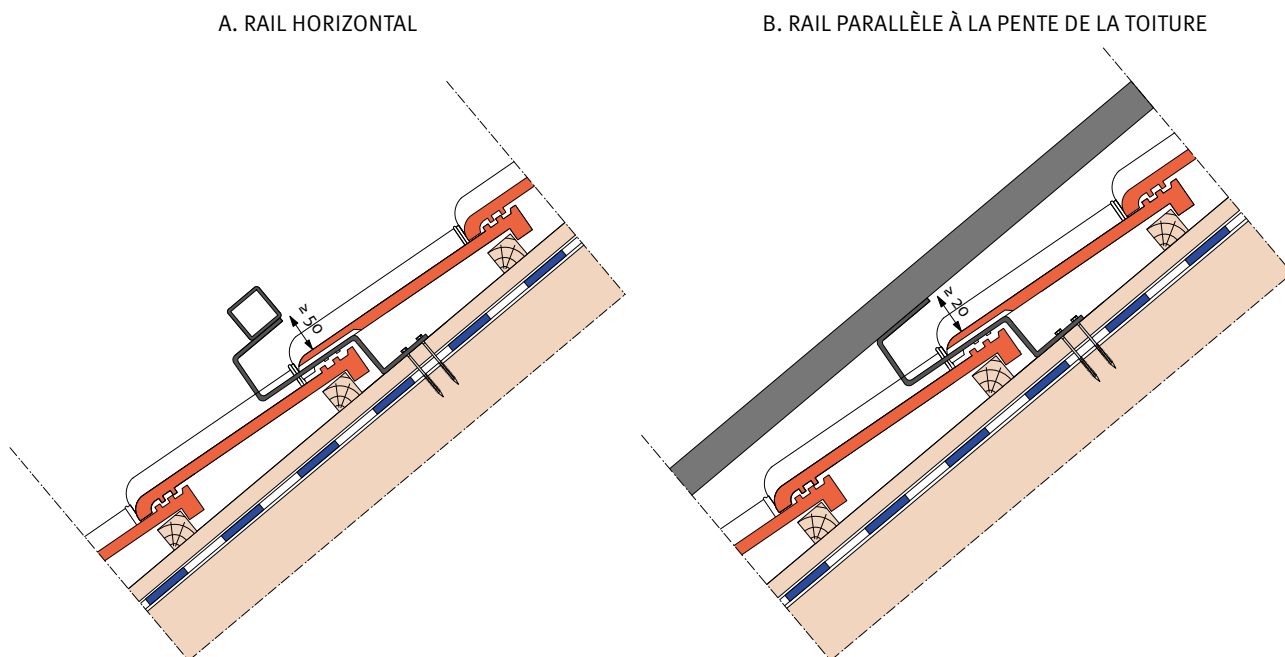


Fig. 34 Distance entre les rails et la couverture (cotes en mm).

Il convient en outre de choisir la position des capteurs de manière à minimiser les travaux d'adaptation des éléments de couverture, c'est-à-dire en évitant leur découpe, en n'entravant pas leur fixation mécanique et en préservant l'aspect esthétique de l'ensemble. Lorsque des adaptations importantes des éléments de couverture sont inévitables et que leur fixation mécanique pose problème, il est conseillé de supprimer ces éléments et de compenser leur absence par un élargissement des raccords d'étanchéité.

Enfin, les capteurs seront positionnés de façon à conserver les éléments de couverture situés en périphérie de toiture, ceux-ci possédant parfois des fonctions spécifiques (faîtière ventilée, par exemple).

### 5.2.2 FIXATION MÉCANIQUE

Les capteurs solaires placés en intégration doivent être fixés mécaniquement dans la charpente, soit de manière directe, soit via un élément suffisamment résistant, lui-même fixé dans la charpente. Comme pour le placement en surimposition, les assemblages cloués ne sont pas admis.

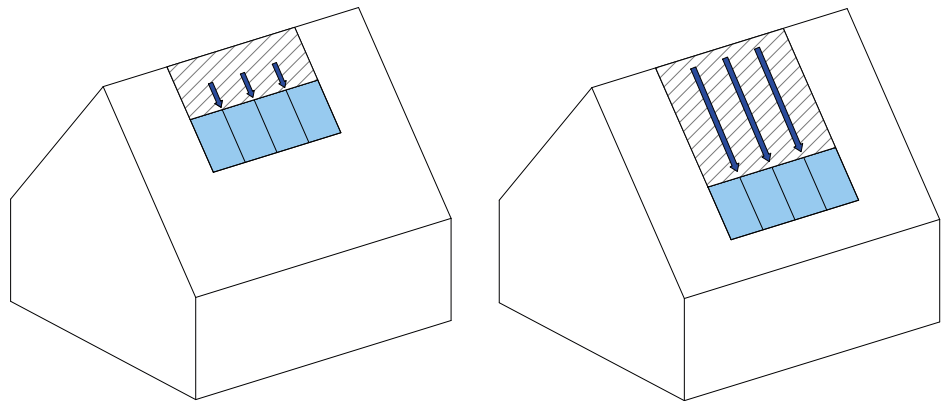


Fig. 35 Influence de la position des capteurs sur le débit d'eau incident.

On peut donc envisager de fixer les capteurs dans des lattes, pour autant que leur section soit suffisante et qu'elles soient elles-mêmes vissées dans la charpente. En pratique, cependant, la section habituelle des lattes, telle que précisée au tableau 5 de la [Note d'information technique n° 240](#) [15], est insuffisante pour assurer la fixation mécanique des capteurs solaires. Il est nécessaire, dans ce cas, d'utiliser des lattes ou des voliges supplémentaires de plus forte section, ou des dispositifs spécifiques de fixation conçus par des fabricants.

Il existe de nombreuses manières de fixer mécaniquement les capteurs solaires dans la charpente. Deux exemples sont fournis ci-après à titre illustratif. Le premier, présenté à la figure 36, montre un capteur dont le cadre est spécialement conçu pour recevoir un élément de fixation compatible.

#### Détermination de la section minimale des éléments intermédiaires de fixation

Dans la pratique, les capteurs sont fixés au moyen de vis d'un diamètre supérieur ou égal à 4 mm. D'après le tableau 1 (p. 23), la section minimale des éléments de fixation en bois (épaisseur x largeur) doit s'élever à 24 mm x 40 mm, ce qui exclut les lattes habituelles. Le tableau 2 ci-après précise la section minimale des éléments de fixation en fonction du diamètre des vis employées.

Tableau 2 Section minimale des éléments de fixation en fonction du diamètre des vis.

Diamètre nominal des vis	Section des éléments de fixation intermédiaires	
	Épaisseur minimale	Largeur minimale
4 mm	24 mm	40 mm
5 mm	30 mm	50 mm
6 mm	36 mm	60 mm
7 mm	42 mm	70 mm
8 mm	48 mm	80 mm

A titre d'exemple, une volige de 38 x 100 mm convient pour des vis de 6 mm.

Le second exemple, illustré à la figure 37, montre un capteur sans cadre, ou un capteur dont le cadre n'est pas spécifiquement adapté, fixé dans la charpente à l'aide d'un élément comparable à ceux employés pour la fixation de vitrages en toiture (cf. [Note d'information technique n° 221](#)) [13].

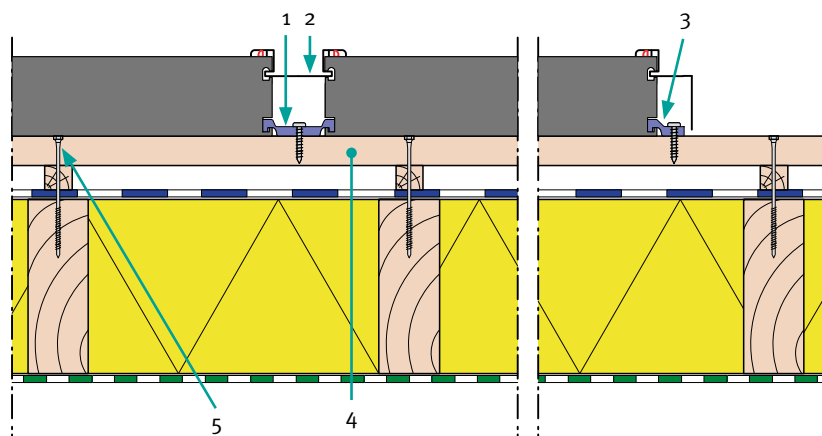
### 5.2.3 ETANCHÉITÉ

L'étanchéité à la pluie est assurée par les raccords périphériques situés en tête, en rive et au pied de l'installation solaire. Leur forme, leurs dimensions et leur mise en œuvre doivent être compatibles avec le type, la forme et les dimensions des éléments de couverture ainsi qu'avec la pente de la toiture. Ces raccords doivent être fixés mécaniquement sur les capteurs et dans la charpente. Afin d'éviter leur percement, ils sont généralement fixés à l'aide d'un dispositif de type agrafe. Des vis munies d'une rondelle d'étanchéité peuvent être employées dans une zone du raccord n'assurant pas la récolte de l'eau de pluie. Le cas échéant, la rondelle d'étanchéité doit être résistante au rayonnement UV. Les raccords d'étanchéité ne peuvent couvrir, même partiellement, la surface réceptrice des capteurs solaires, sous peine de réduire leur production et, dans le cas des cellules photovoltaïques, de réduire potentiellement leur durée de vie.

La sous-toiture ne peut faire partie du dispositif d'étanchéité. Cela signifie que les raccords d'étanchéité doivent assurer seuls la continuité de la fonction d'étanchéité à la pluie et que la sous-toiture ne peut être sollicitée davantage par l'intégration des capteurs solaires. Les raccords d'étanchéité doivent être équipés d'un dispositif propre de drainage des infiltrations vers la couverture en aval ou vers le système d'évacuation des eaux de pluie, le cas échéant.

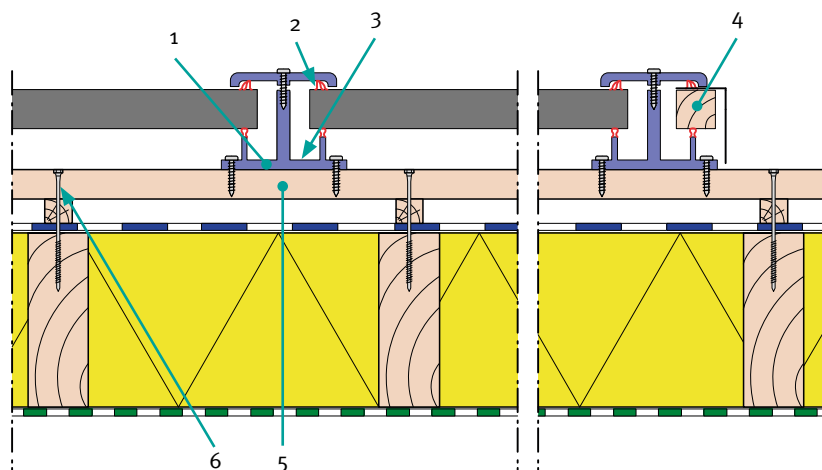
En fonction du type de capteurs et de la technique de pose, la sous-toiture doit éventuellement être résistante au rayonnement solaire ultraviolet. Si les capteurs solaires thermiques plans sont opaques au rayonnement ultraviolet, ce

n'est pas toujours le cas des capteurs photovoltaïques. La plupart de ceux-ci sont équipés en face arrière d'une membrane synthétique qui les protège des conditions climatiques et assure leur durabilité. Cette membrane laisse passer une faible quantité de rayonnement. Il existe également des capteurs dont la face arrière est munie d'une seconde feuille de verre, permettant une meilleure protection que la membrane synthétique, mais susceptible de laisser passer davantage de rayonnement. Ce type de capteurs



- |                                       |                                    |
|---------------------------------------|------------------------------------|
| 1. Élément de fixation intermédiaire  | 4. Volige supplémentaire           |
| 2. Élément d'étanchéité intermédiaire | 5. Fixation mécanique de la volige |
| 3. Élément de fixation latéral        |                                    |

Fig. 36 Fixation mécanique du capteur à l'aide d'un dispositif adapté au cadre.



- |                        |                                    |
|------------------------|------------------------------------|
| 1. Élément de fixation | 4. Latte de remplissage            |
| 2. Joint souple        | 5. Volige supplémentaire           |
| 3. Gorge de drainage   | 6. Fixation mécanique de la volige |

Fig. 37 Fixation mécanique du capteur à l'aide d'un dispositif comparable à celui utilisé pour la fixation des vitrages en toiture.

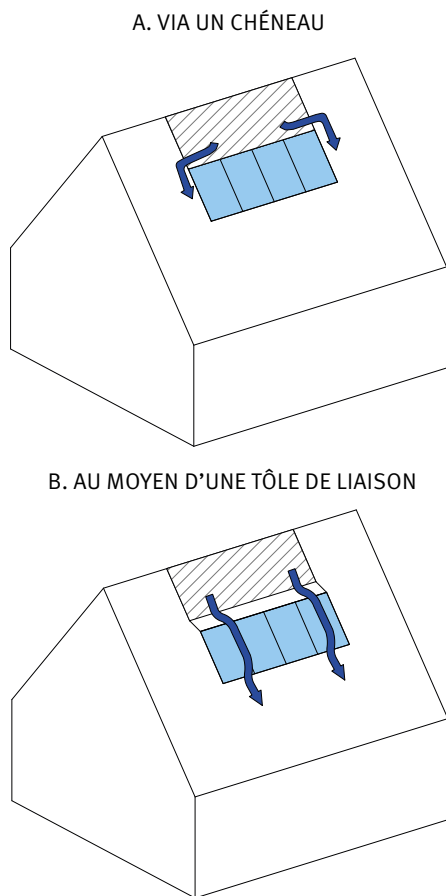


Fig. 38 Les deux principes de mise en œuvre du raccord de tête.

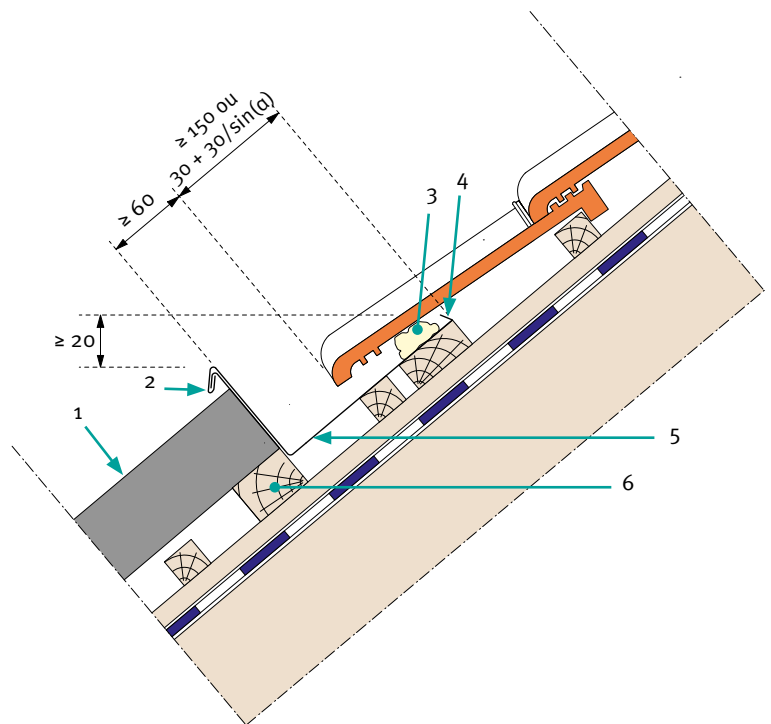
peut être employé en toiture, même si aucune fonction de transmission lumineuse n'est nécessaire. Dans un cas comme dans l'autre, un rayonnement ultraviolet de faible intensité est susceptible de provoquer le vieillissement prématuré de la sous-toiture si celle-ci est exposée et n'est pas suffisamment résistante.

Les raccords d'étanchéité périphériques sont généralement de fines tôles métalliques, mises en forme en atelier ou directement sur chantier. Les éventuels raccords d'étanchéité intermédiaires entre plusieurs rangées ou colonnes de capteurs sont propres à chaque dispositif d'intégration et doivent être placés selon les consignes du fabricant; ils ne sont pas traités dans ce document.

## 5.2.4 RACCORDS ENTRE LA COUVERTURE ET LES CAPTEURS SOLAIRES

### 5.2.4.1 Raccord de tête

Le raccord de tête permet d'assurer la continuité de l'étanchéité à la pluie entre la couverture située en amont et les



- |                                  |                            |
|----------------------------------|----------------------------|
| 1. Capteur solaire               | 4. Pli                     |
| 2. Raccord étanche               | 5. Raccord de type chéneau |
| 3. Bande de mousse imputrescible | 6. Latte supplémentaire    |

Fig. 39 Raccord d'étanchéité de type chéneau en tête de capteurs (technique A – cotes en mm).

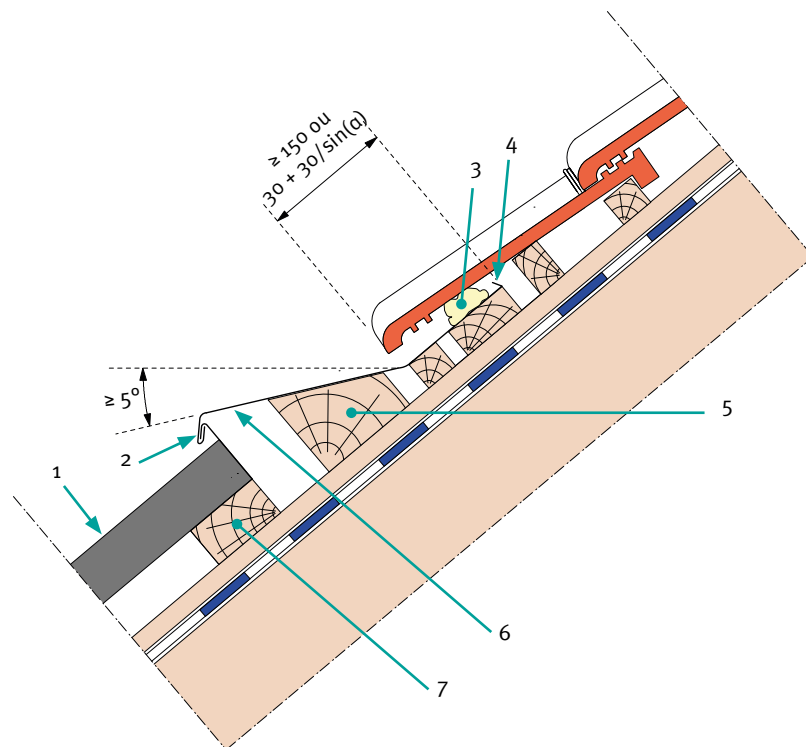
capteurs solaires. Les deux techniques utilisées à cet effet présentent des caractéristiques très différentes :

- soit on dévie l'eau de ruissellement provenant de la toiture située en amont vers les flancs des capteurs solaires (figure 38A) ou, lorsque l'installation est trop large, vers des goulottes intermédiaires
- soit on laisse l'eau poursuivre sa course sur la face supérieure des capteurs (figure 38B).

La technique illustrée à la figure 38A est comparable à celle utilisée pour les fenêtres de toit; le détail technique de la mise en œuvre est représenté à la figure 39. Le raccord de tête est conçu comme un chéneau, qui récolte l'eau provenant de la couverture située en amont et la dévie vers les rives de l'installation. Par conséquent, la quantité d'eau circulant sur les capteurs est relativement faible et se limite à la pluie directe. Le débit dévié vers les rives peut cependant être élevé lorsque les pluies sont intenses et que la surface en amont est étendue, comme le montre la figure 35 (page 32). Dans ce cas, la longueur du chéneau doit être limitée, pour éviter les infiltrations à la jonction entre le raccord de tête, les raccords latéraux et la couverture. En pratique, des goulottes intermédiaires rac-

cordées au chéneau sont placées entre chaque colonne de capteurs et au maximum tous les trois mètres.

Le chéneau constitue une zone potentielle d'accumulation de déchets provenant de la couverture située en amont et de l'environnement extérieur (mousse, feuilles mortes, etc.). Pour éviter son obstruction et permettre un nettoyage, une distance d'au moins 60 mm, mesurée dans le plan de la toiture, doit être mise en œuvre entre le chéneau et les éléments de couverture situés en amont. En l'absence d'indications du fabricant, les éléments de couverture doivent assurer un recouvrement du raccord de tête sur une distance minimale de 150 mm; celle-ci peut aussi être calculée selon la formule  $30 + 30/\sin(\alpha)$ , avec  $\alpha$  la pente de la toiture. La différence de hauteur entre les bords inférieur et supérieur du chéneau doit au moins être égale à 20 mm. Le bord supérieur doit être muni d'un pli destiné à empêcher le débordement lors d'une remontée d'eau sous l'effet du vent et permettant également la fixation par agrafage. Le raccord entre le chéneau et l'installation solaire doit être étanche en cas de débordement. Ces exigences sont illustrées à la figure 39.



1. Capteur solaire	4. Pli	6. Raccord de tête / tôle de liaison
2. Raccord étanche	5. Forme de support	7. Latte supplémentaire
3. Bande de mousse imputrescible		

Fig. 40 Raccord d'étanchéité au moyen d'une tôle de liaison (technique B – cotes en mm).

La technique schématisée à la figure 38B implique la présence d'une tôle de liaison à pente positive entre la couverture située en amont et la face supérieure des capteurs. Un recouvrement d'au moins 150 mm doit être réalisé entre la couverture en amont et la tôle de liaison; ce recouvrement peut aussi se calculer selon la formule  $30 + 30/\sin(\alpha)$ , avec  $\alpha$  la pente de la toiture, ou selon les instructions de pose du fabricant. Le bord supérieur du raccord est muni d'un pli destiné à empêcher le débordement lors d'une remontée d'eau sous l'effet du vent et permettant également la fixation par agrafage. La pente de la tôle de liaison doit avoir une inclinaison d'au moins 5°. Lorsque la pente de la toiture diminue, la largeur du raccord doit augmenter afin de maintenir une pente supérieure à 5°, ce qui a une influence sur l'aspect esthétique de l'installation. Ces exigences sont illustrées à la figure 40.

Dans la pratique, la technique explicitée ci-avant s'avère mieux adaptée aux capteurs solaires qu'un raccord de type chéneau, ce dernier étant principalement utilisé pour les fenêtres de toit, que l'on souhaite pouvoir ouvrir même en cas de pluie.

#### 5.2.4.2 Raccords latéraux

Les raccords latéraux assurent la continuité de l'étanchéité entre les rives des capteurs solaires et la couverture, ainsi qu'avec le raccord de tête et le raccord en pied. On distingue deux types de raccords :

- les raccords de type 'noquet', dont les dimensions sont comparables à celles des éléments de couverture. Ces raccords peuvent être employés avec n'importe quel type de couverture, mais sont principalement utilisés pour les ardoises et les tuiles plates
- les raccords continus, principalement utilisés pour les tuiles à emboîtement. Ces raccords sont plus rapides à mettre en œuvre que les noquets et leur sont souvent préférés lorsque cela s'avère possible.

#### ■ Noquets

Les noquets reproduisent le même type d'étanchéité que les éléments de couverture, c'est-à-dire qu'ils assurent un recouvrement dans le cas des ardoises et des tuiles plates.



Fig. 41 Raccord de type noquet (à gauche) et raccord continu (à droite).

La géométrie des noquets sera adaptée à celle des éléments de couverture. Outre une meilleure intégration esthétique, cela permet de faciliter la pose des différents éléments. Il est également possible d'aménager un canal d'écoulement (figure 41) entre les noquets et les capteurs solaires, afin de les utiliser avec un raccord de tête de type chéneau.

#### ■ Raccords continus

Pour limiter les risques d'infiltration, il est recommandé d'équiper les raccords latéraux d'une barrière d'étanchéité

intermédiaire. Un canal d'évacuation est dès lors constitué, d'une part, par la remontée du raccord d'étanchéité sur le flanc du capteur (ou du dispositif de fixation) et, d'autre part, par une barrière d'étanchéité d'au moins 25 mm de hauteur. La largeur du canal est supérieure ou égale à 30 mm pour limiter son obstruction par des déchets et de la mousse, et permettre son nettoyage manuel. Selon la forme de la tuile, son flanc doit être positionné contre la barrière d'étanchéité (figure 42A) ou au-dessus de celle-ci (figure 42B). Des solutions sans barrière d'étanchéité intermédiaire sont admises pour autant qu'elles aient été testées et bénéficient de la garantie d'un fabricant.

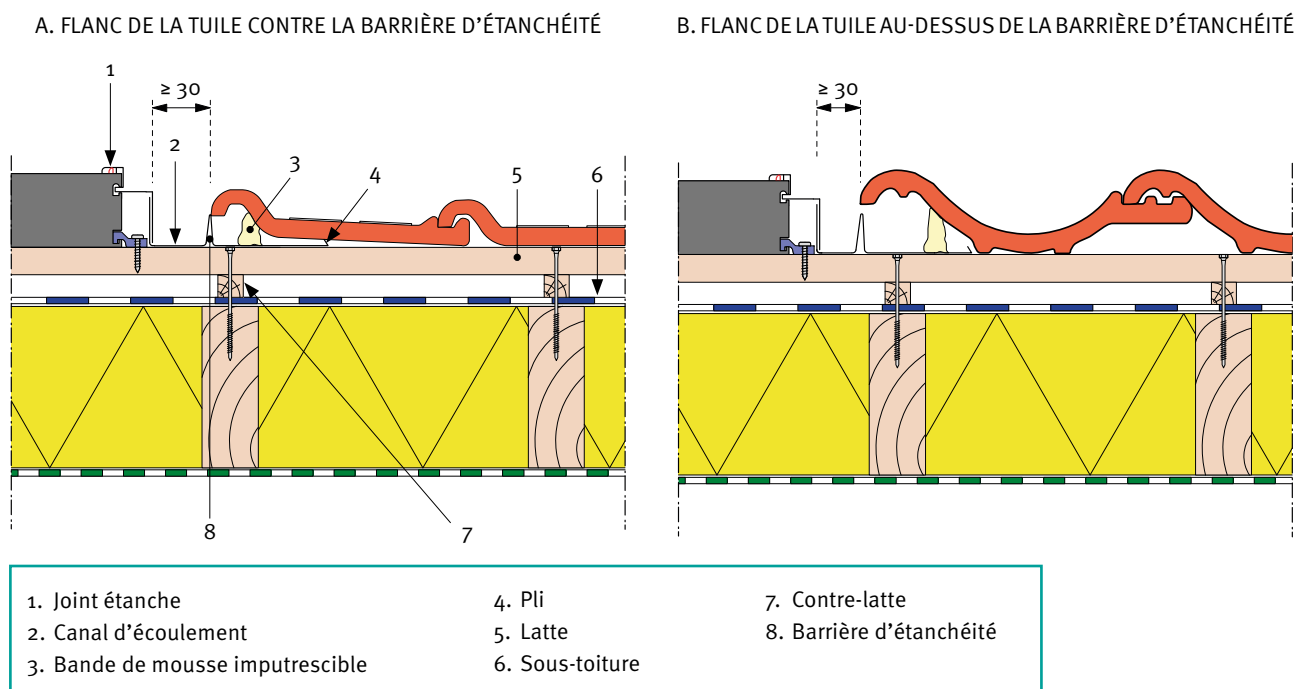


Fig. 42 Détails des raccords latéraux (cotes en mm).

Au-delà de la barrière d'étanchéité, le raccord latéral se prolonge sous la tuile, afin de récolter les inévitables infiltrations d'eau, et se termine par un pli qui limite les débordements en cas de vent. L'étanchéité au vent est éventuellement complétée par une bande de mousse imputrescible.

Le prolongement du raccord latéral sous la tuile est susceptible d'en perturber le placement ainsi que l'alignement avec les autres éléments de couverture. Ce problème survient principalement dans le cas de tuiles très plates et lorsque le raccord empêche la prise du talon de la tuile dans la latte. La moitié du talon peut éventuellement être supprimée pour faciliter la mise en œuvre. Le raccord latéral se termine du côté des capteurs par un joint étanche dont la mise en œuvre dépend de la technique de fixation et du type de cadre du capteur.

Lorsque plusieurs raccords continus sont nécessaires pour couvrir l'ensemble du flanc de l'installation solaire, un recouvrement minimum de 150 mm doit être mis en œuvre entre chaque élément; ce recouvrement peut aussi se calculer selon la formule  $30 + 30/\sin(\alpha)$ , avec  $\alpha$  la pente de la toiture, ou selon les instructions du fabricant. Le même recouvrement est nécessaire entre les raccords latéraux et le raccord de tête ainsi qu'avec le raccord en pied.

### 5.2.4.3 Raccord en pied

Le raccord en pied permet d'assurer la continuité de l'étanchéité à la pluie entre la dernière rangée de capteurs solaires

et la couverture située en aval. L'étanchéité peut être mise en œuvre selon deux techniques :

- par recouvrement du raccord d'étanchéité par le capteur (figure 43A)
- à l'aide d'un joint étanche entre le raccord et le capteur (figure 43B).

La **technique représentée à la figure 43A** implique le recouvrement du raccord d'étanchéité par le capteur solaire sur une distance minimale de 150 mm; celle-ci peut aussi se calculer selon la formule  $30 + 30/\sin(\alpha)$ , avec  $\alpha$  la pente de la toiture, ou selon les instructions du fabricant. Le détail technique de mise en œuvre est présenté à la figure 44 (p. 38).

Le raccord d'étanchéité est muni, du côté amont, d'un pli permettant d'éviter les remontées d'eau sous l'effet du vent et d'assurer la fixation par agrafage. L'écartement entre les capteurs solaires et la toiture peut varier selon le dispositif de fixation employé. Dans certains cas, les capteurs sont quasiment en contact avec le raccord d'étanchéité; dans d'autres, un écart de plusieurs centimètres est présent. Lorsque l'écart est important, il est recommandé de placer une bande de mousse ou une tôle afin de limiter les remontées d'eau sous l'effet du vent.

La **technique proposée à la figure 43B** nécessite un profilé d'étanchéité spécifique, comparable à ceux que l'on utilise pour les fenêtres de toit; ce profilé remonte sur le chant des capteurs (ou du dispositif de fixation) et doit

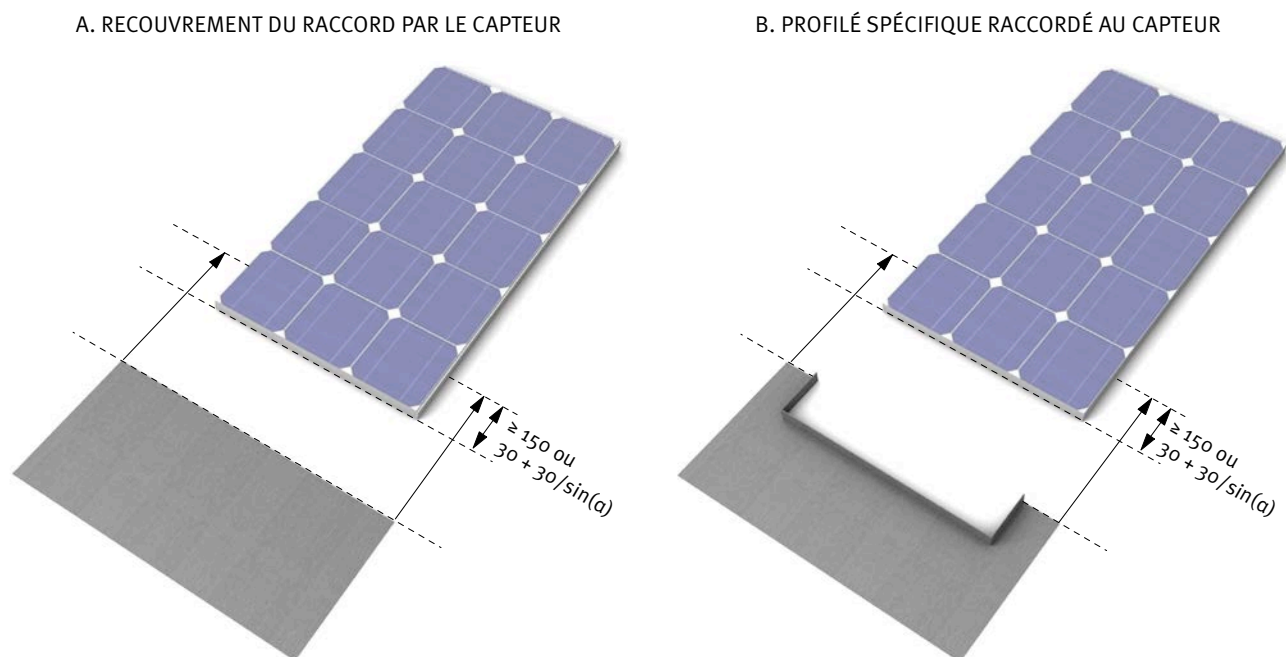


Fig. 43 Raccordement en pied (cotes en mm).

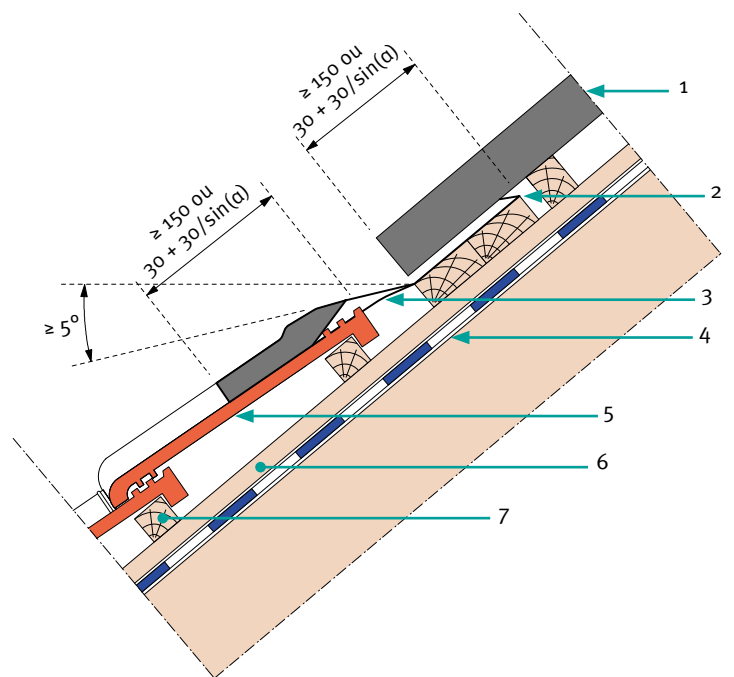
permettre une liaison étanche. Il faut en outre que le raccord remonte le long des flancs des capteurs vers l'amont de la couverture sur une distance minimale de 150 mm pour assurer une liaison étanche avec les raccords d'étanchéité latéraux; cette distance peut également se calculer selon la formule  $30 + 30/\sin(\alpha)$ , avec  $\alpha$  la pente de la toiture, ou selon les instructions du fabricant.

Bien que les deux techniques puissent être appliquées sans contre-indication, la technique A semble plus simple à mettre en œuvre que la technique B. Cette dernière est mieux adaptée aux fenêtres de toit, qui délimitent une ouverture totale dans le complexe de toiture et pour lesquelles aucun recouvrement n'est possible. De plus, le raccord en pied doit être compatible avec les raccords latéraux, ce qui implique que ceux-ci soient conçus selon le même principe pour assurer un écoulement étanche de l'eau.

Quelle que soit la technique adoptée, l'étanchéité du côté de la couverture située en aval est assurée grâce au recouvrement des éléments de couverture par le raccord d'étanchéité (voir les figures 44 et 45). En l'absence d'indication du fabricant, le recouvrement doit être mis en œuvre sur une distance minimale de 150 mm, distance qui peut également se calculer selon la formule  $30 + 30/\sin(\alpha)$ , avec  $\alpha$  la pente de la toiture. Afin de limiter l'effet du vent, qui pourrait soulever le raccord d'étanchéité, ce dernier doit être convenablement ajusté sur les éléments de couverture.

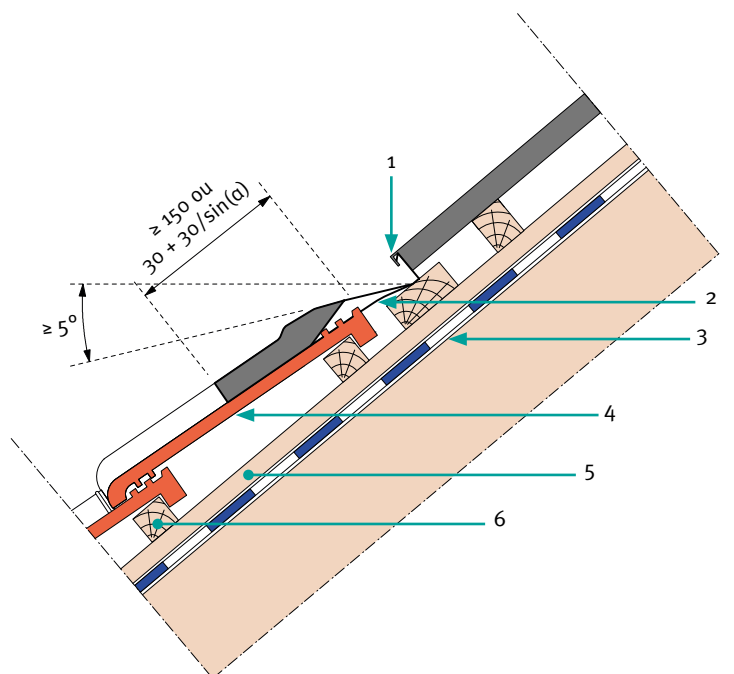
Pour s'adapter aux éléments ondulés, les raccords sont parfois constitués d'une partie souple – par exemple, en métal plissé ou en plomb – qui est légèrement martelée pour épouser la forme de l'onde. En présence d'éléments de couverture plats, les feuilles métalliques rigides sont idéalement pliées au préalable dans le sens de la longueur, afin d'exercer une légère pression sur la couverture (figure 46).

Lorsqu'il est nécessaire d'utiliser plusieurs feuilles métalliques pour réaliser le raccord en pied, la jonction latérale entre deux feuilles successives peut être effectuée à l'aide d'un recouvrement d'au moins 150 mm. En présence de tuiles ondulées, le recouvrement doit avoir au moins la longueur d'une onde (figure 47).



- |                    |                 |
|--------------------|-----------------|
| 1. Capteur solaire | 5. Tuile        |
| 2. Pli             | 6. Contre-latte |
| 3. Raccord         | 7. Latte        |
| 4. Sous-toiture    |                 |

Fig. 44 Etanchéité en pied par recouvrement (technique A – cotes en mm).



- |                  |                 |
|------------------|-----------------|
| 1. Joint étanche | 4. Tuile        |
| 2. Raccord       | 5. Contre-latte |
| 3. Sous-toiture  | 6. Latte        |

Fig. 45 Etanchéité par joint étanche (technique B – cotes en mm).

A. FEUILLE MÉTALLIQUE SOUPLE

B. FEUILLE MÉTALLIQUE RIGIDE



Fig. 46 Recouvrement en aval à l'aide d'une feuille métallique.

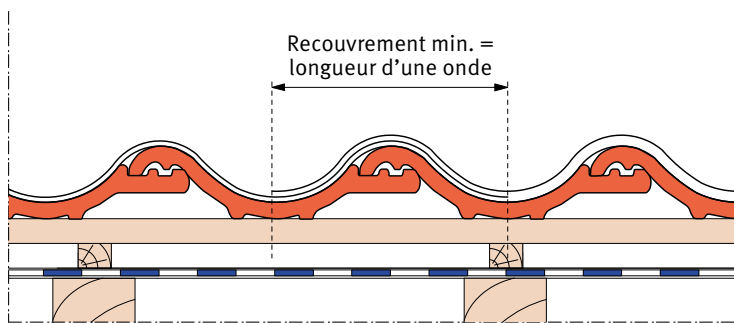


Fig. 47 Recouvrement dans le creux de l'onde dans le cas de tuiles ondulées.

Le raccord d'étanchéité en pied doit également satisfaire aux exigences suivantes :

- couvrir toute la largeur de l'installation solaire, y compris les raccords d'étanchéité latéraux et au moins un élément de couverture supplémentaire à chaque extrémité
- présenter une pente positive égale ou supérieure à 5° (la pente peut être localement négative au sommet de l'onde des tuiles ondulées)
- si le matériau flue avec le temps (plomb, par exemple), il doit être maintenu sur toute sa surface par une forme de pente.

### 5.3 PASSAGE DES CÂBLES ET DES CONDUITS

Pour les installations solaires thermiques comme pour les installations photovoltaïques, il est nécessaire de raccorder les capteurs, placés en toiture, avec le reste de l'installation généralement situé à l'intérieur du bâtiment (ballon d'eau

chaude, onduleur, etc.). Chaque percement effectué pour le passage de câbles électriques ou de conduits caloporteurs doit être réalisé de manière à ne pas compromettre l'intégrité de la toiture. Le nombre de percements doit en outre être réduit au maximum.

Les recommandations pour la réalisation des raccords au niveau de chaque couche de la toiture sont décrites ci-après. Le schéma global d'un percement est illustré à la figure 48 (p. 40) pour un conduit caloporteur isolé.

Une attention particulière doit être accordée aux conduits caloporteurs. En effet, leur température peut atteindre les 150 à 200 °C à proximité du capteur lorsque la pompe de circulation est à l'arrêt. Ces conduits doivent impérativement être isolés à l'aide d'un matériau capable de résister durablement à de telles températures, non seulement pour limiter les pertes thermiques, mais également pour protéger les matériaux combustibles situés à proximité, comme par exemple la sous-toiture, l'isolant, le pare-vapeur et les éléments en bois de la charpente. La fiche technique des diffé-

rents produits spécifie la température maximale admissible.

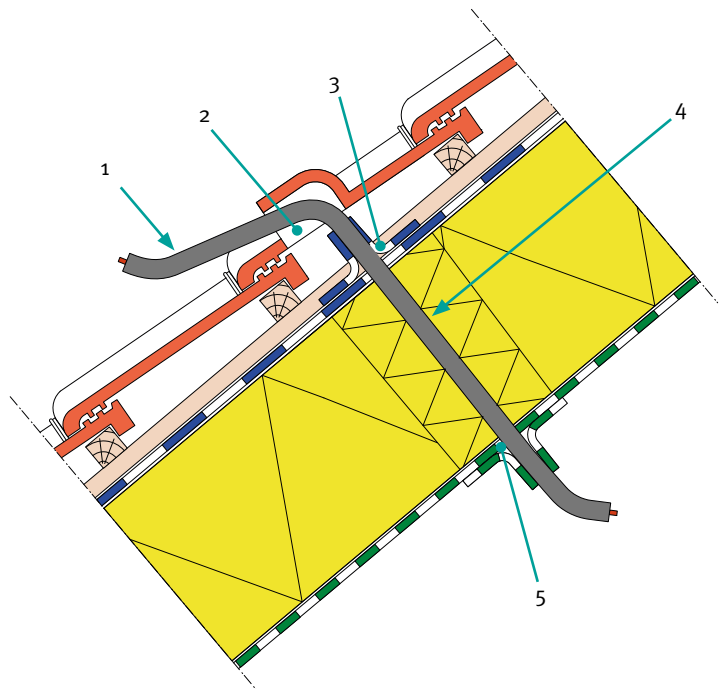
Les conditions de mise en œuvre, telles qu'un accès correct à la zone de travail et la propreté du chantier, ont une grande incidence sur la qualité et la durabilité des raccords (absence de poussière sur les bandes autocollantes, par exemple).

### 5.3.1 PERCEMENT DE LA COUVERTURE

Il est déconseillé de faire passer les conduits caloporteurs et les câbles électriques par le recouvrement entre deux rangées d'éléments de couverture, sous peine de compromettre leur emboîtement et leur étanchéité. La pression exercée par les éléments de couverture sur les câbles et les conduits, combinée au mouvement de ces derniers sous l'effet du vent ou de la dilatation thermique pourrait les endommager. Il est recommandé d'utiliser des accessoires spécifiquement prévus à cet effet (figure 50). Certains accessoires présentent un orifice de diamètre variable, permettant de s'adapter aux différents diamètres des câbles électriques et des conduits caloporteurs.

Il est également possible d'adapter certains éléments de couverture pour permettre le passage de câbles ou de conduits. Le principe est le même que pour le placement des crochets de fixation. Il est illustré à la figure 49 pour le cas d'une toiture en ardoises.

Dans certains montages en intégration, les câbles ou les conduits débouchent directement sous la couver-



- |                                 |                             |
|---------------------------------|-----------------------------|
| 1. Conduit caloporteur isolé    | 4. Traversée de l'isolant   |
| 2. Percement de la couverture   | 5. Percement du pare-vapeur |
| 3. Percement de la sous-toiture |                             |

Fig. 48 Passage d'un conduit caloporteur au travers de la toiture.

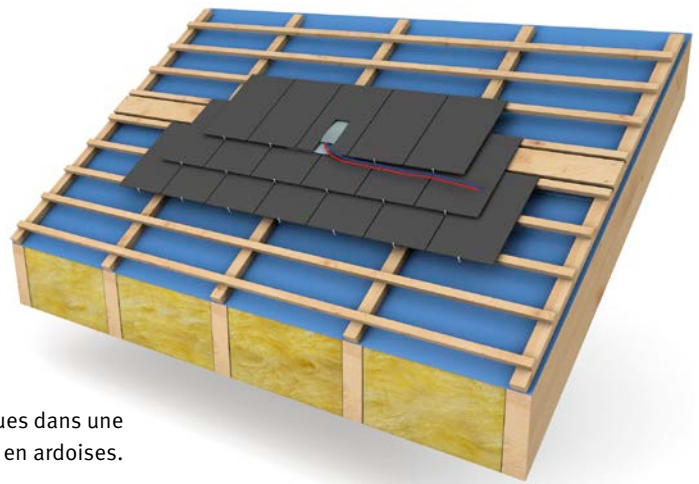


Fig. 49 Passage de câbles électriques dans une couverture en ardoises.



Fig. 50 Accessoires spécifiques pour le passage de câbles et de conduits.

A. RECOUVREMENT ENTRE DEUX MEMBRANES



B. ACCESSOIRE D'ÉTANCHÉITÉ COLLÉ SUR LA SOUS-TOITURE

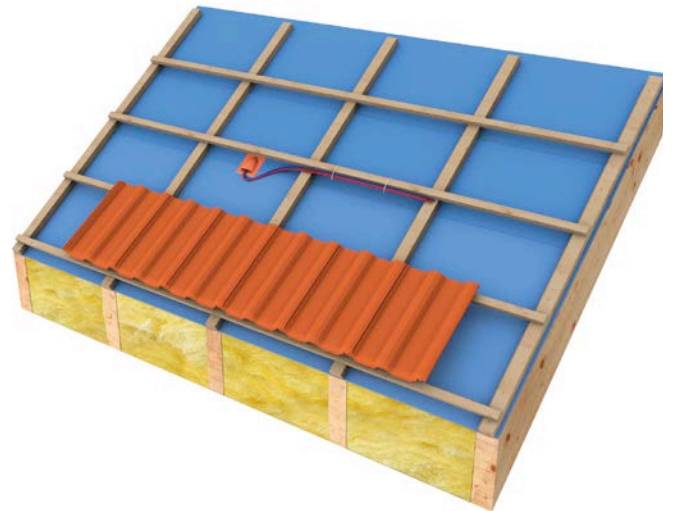


Fig. 51 Raccord au niveau des percements de la sous-toiture.

ture; celle-ci ne doit donc pas être percée. Pour les systèmes thermiques à vidange, les prescriptions du § 5.2.3 de la [Note d'information technique n° 212](#) [12] sont d'application; elles ont pour but de permettre le retour automatique du liquide caloporteur dans le réservoir de stockage en cas d'arrêt de la pompe de circulation.

### 5.3.2 PERCEMENT DE LA SOUS-TOITURE

Les percements réalisés dans la sous-toiture doivent être aussi limités et nets que possible. La zone du percement doit être protégée contre le ruissellement éventuel de l'eau provenant de l'amont de la toiture, par exemple en surélevant légèrement l'ouverture par rapport au plan de la toiture :

- dans le cas d'une **sous-toiture rigide**, il est conseillé de faire usage d'une scie-cloche ou d'une mèche du bon diamètre. L'étanchéité au vent et à l'eau est ensuite assurée autour du percement, par exemple à l'aide d'un accessoire spécifique collé sur la sous-toiture (voir ci-dessus la figure 51B)
- pour des **sous-toitures souples**, le passage peut être réalisé par le recouvrement entre deux membranes (figure 51A). Il est recommandé dans ce cas de maintenir le raccord fermé, par exemple à l'aide d'une bande autocollante adaptée à cet usage. Grâce au recouvrement entre les membranes, il n'est pas nécessaire de surélever le percement. Il est également possible de réaliser deux entailles en forme de croix dans la membrane. L'étanchéité au vent et à l'eau doit ensuite être assurée autour du percement, par exemple à l'aide d'un accessoire spécifique collé sur la sous-toiture (figure 51B); il faut de plus s'assurer que les entailles ne se déchirent pas ultérieure-

ment, par exemple en utilisant une bande autocollante adaptée à cet usage.

Lorsqu'on colle des produits adhésifs sur la sous-toiture, il est important de garder à l'esprit que la durabilité de l'assemblage dépendra fortement des conditions de propreté et de la possibilité d'exercer manuellement une pression élevée sur les composants lors de la mise en contact.

### 5.3.3 PERCEMENT DE L'ISOLATION

La pose des capteurs solaires est généralement réalisée à la fin des travaux de construction, lorsque l'isolation de la toiture est déjà en place. Le passage des câbles électriques et des conduits caloporteurs nécessite dès lors de retirer localement et temporairement la couche d'isolant pour avoir un accès correct à la zone de travail. La longueur des câbles et des conduits qui traversent la toiture sera aussi courte que possible et le passage sera réalisé en ligne droite, perpendiculairement au plan de la toiture. Une fois les câbles et les conduits installés, l'isolation est remise soigneusement en place, en veillant à ne laisser aucun espace vide.

### 5.3.4 PERCEMENT DU PARE-VAPEUR

L'étanchéité des percements du pare-vapeur est réalisée de préférence à l'aide de manchettes souples adaptées au diamètre du câble ou du conduit (figure 52, p. 42). Pour une meilleure étanchéité, la manchette est placée en même temps que le câble ou le conduit, avant que celui-ci ne soit raccordé. Elle ne doit surtout pas être coupée et placée ulté-

rieurement. Pour de plus amples informations concernant l'étanchéité à l'air des bâtiments, le lecteur consultera utilement la [Note d'information technique n° 255](#) [18].

GROSSE OUVERTURE POUR UN CONDUIT CALOPORTEUR  
(SOLAIRE THERMIQUE)



DEUX PETITES OUVERTURES POUR DEUX CÂBLES  
(SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE)



Fig. 52 Manchettes autocollantes pour le passage d'un conduit ou de deux câbles (photos : CSTC).

# 6

## CHOIX DES MATÉRIAUX

Les matériaux employés pour le montage des capteurs solaires, tant en intégration qu'en surimposition, doivent être conçus pour un usage en toiture. Cela signifie que, dans des conditions normales de pose et d'utilisation, ils doivent être résistants aux agressions climatiques, compatibles du point de vue chimique et électrochimique, et correctement dimensionnés, au risque de ne pas remplir correctement leur fonction ou de ne l'assurer que pendant une durée insuffisante (inférieure à la durée de vie prévue de l'installation solaire). Le choix de matériaux dotés de propriétés spécifiques, d'un traitement additionnel ou d'une épaisseur suffisante permet de garantir leur durabilité. La conception des installations solaires et des accessoires doit prendre en compte une durée de vie d'au moins 20 ans moyennant un entretien effectué suivant les instructions de l'installateur ou du fabricant.

Les matériaux sont soumis à des sollicitations variables en fonction de leur position au sein de la toiture. On différencie principalement les éléments placés au-dessus et en dessous de la couverture :

- les **éléments placés en dessous de la couverture** sont soumis à des températures comprises entre 80 °C en été et -20 °C en hiver. Ils subissent des cycles courts de dilatation thermique (entre le jour et la nuit, par exemple). Ils sont également exposés aux éventuelles agressions chimiques de l'environnement, telles que le brouillard salin en bord de mer et les rejets gazeux des zones industrielles ou agricoles. Ils peuvent en outre entrer en contact avec de la condensation et être exposés à un rayonnement solaire ultraviolet limité
- outre les sollicitations énumérées ci-avant, les **éléments placés au-dessus de la couverture** subissent les précipitations et un rayonnement solaire ultraviolet plus intense.

### 6.1 MODES DE DÉGRADATION DES MATÉRIAUX

#### 6.1.1 RAYONNEMENT SOLAIRE ULTRAVIOLET

Le rayonnement solaire ultraviolet entraîne une fragilisation de la plupart des matériaux synthétiques. Ceux qui ne sont pas protégés ne peuvent être exposés à la lumière du soleil. Un rayonnement solaire de faible intensité, tel qu'il peut se



rencontrer en dessous de certains types de tuiles ou de capteurs solaires photovoltaïques, peut en outre conduire, à long terme, à l'endommagement ou à la destruction des matériaux exposés. De mauvais emboîtements entre des éléments de couverture peuvent également laisser passer la lumière.

Les accessoires en matériau synthétique sont régulièrement utilisés dans les installations solaires thermiques et photovoltaïques : gaine de câble électrique, serre-câble, isolant de conduit caloporteur, bavette d'étanchéité, etc. Il convient de se renseigner auprès du fabricant pour déterminer s'ils sont résistants au rayonnement solaire ultraviolet et s'ils peuvent être employés en toiture sans protection supplémentaire.

#### 6.1.2 AGRESSIONS MÉCANIQUES

Les accessoires situés à l'extérieur peuvent subir des agressions mécaniques et doivent le cas échéant être protégés.

Parmi les causes fréquentes, on peut citer les animaux (rongeurs, oiseaux, etc.), les frottements et la circulation des personnes. Généralement moins résistants, les matériaux synthétiques peuvent être protégés au moyen d'une enveloppe plus résistante, telle qu'une gaine métallique. Cette enveloppe peut éventuellement jouer le rôle supplémentaire de protection contre les rayons ultraviolets.

### 6.1.3 CORROSION DES MÉTAUX

La corrosion des éléments métalliques survient en présence d'eau ou d'humidité; elle peut être accentuée lorsque le milieu est agressif <sup>(5)</sup>, comme en bord de mer, en zone industrielle ou dans les bâtiments d'élevage.

La couche d'oxydation formée peut être perméable ou imperméable à l'air et à l'eau en fonction des matériaux. Dans le premier cas (acier non protégé ou insuffisamment protégé, par exemple), la couche d'oxydation n'empêche pas la dégradation ultérieure du matériau, ce qui entraîne une perte d'épaisseur et une diminution des performances mécaniques. Dans le second cas (acier inoxydable, par exemple), la couche superficielle d'oxydation protège durablement le matériau. Cependant, cette patine n'est pas toujours suffisante et certains environnements sont trop agressifs pour que l'oxyde formé puisse perdurer.

Dans le cadre de cette Note d'information technique, trois situations différentes sont considérées pour représenter le niveau d'agressivité de l'environnement auquel les matériaux doivent résister de manière durable :

- milieu non agressif en dessous de la couverture
- milieu non agressif au-dessus de la couverture
- milieu agressif en dessous ou au-dessus de la couverture.

### 6.1.4 CORROSION GALVANIQUE

La corrosion galvanique se produit lors de la mise en contact de deux métaux de potentiel électrochimique différent, soit par contact direct, soit via un électrolyte (eau de pluie, par exemple). Le métal le moins noble entre en solution et se dépose sur le métal le plus noble. L'élément réalisé avec le métal le moins noble perd progressivement sa matière. Ce phénomène devient critique lorsque l'élément constitué du métal le moins noble est de petite taille par rapport à l'élément constitué d'un métal plus noble. Notons toutefois que le potentiel électrochimique ne fournit qu'une information sur le risque de corrosion théorique et non sur le risque réel, qui dépend de l'éventuelle patine formée naturellement.

<sup>(5)</sup> Ainsi que par contact avec certaines essences de bois ou des membranes bitumineuses.

### 6.1.5 DILATATION THERMIQUE ET DÉCHIRURE

La répétition des cycles de dilatation thermique peut entraîner la rupture ou la déchirure de certains éléments. Ce phénomène est d'autant plus important que le coefficient de dilatation et/ou la longueur de l'élément sont importants. Pour contrer ce phénomène, il est possible de réduire la longueur des éléments employés ou d'utiliser des moyens de fixation qui ne contraignent pas le mouvement des éléments dans certaines directions.

La température des matériaux situés en toiture peut varier de plusieurs dizaines de degrés en quelques heures. Cet échauffement s'accompagne d'un allongement, qui peut être fort différent selon le type de matériau. L'allongement ( $\Delta L$ ) est fonction de la différence de température ( $\Delta T$ ), de la longueur de référence  $L_0$  et du coefficient de dilatation thermique  $\alpha$  (tableau 3); il s'exprime selon la formule suivante :  $\Delta L = \alpha \cdot \Delta T \cdot L_0$ .

Tableau 3 Valeur indicative du coefficient de dilatation thermique de divers matériaux.

Matériau	Coefficient de dilatation thermique $\alpha$
Acier inoxydable	$10 \times 10^{-6} \text{ 1/K}$
Acier ordinaire	$12 \times 10^{-6} \text{ 1/K}$
Aluminium	$25 \times 10^{-6} \text{ 1/K}$
Plomb	$29 \times 10^{-6} \text{ 1/K}$
Zinc	$35 \times 10^{-6} \text{ 1/K}$
Polypropylène (PP)	$150 \times 10^{-6} \text{ 1/K}$
Polyéthylène (PE)	$280 \times 10^{-6} \text{ 1/K}$

A titre d'exemple, un rail en aluminium de 6 m va s'allonger de 9 mm sous l'action d'une variation de température de 60 °C. Une telle variation dimensionnelle doit être traitée avec attention.

## 6.2 CHOIX DES MATÉRIAUX

Sur la base des considérations théoriques développées ci-avant, quelques solutions pratiques sont proposées pour les configurations les plus fréquentes.

### 6.2.1 CROCHETS

Les crochets, bien que partiellement protégés par les capteurs solaires, sont directement exposés aux conditions climatiques. Dans un environnement agressif, ils doivent être

fabriqués en acier inoxydable de type A4 <sup>(6)</sup> ou dans un matériau d'une résistance équivalente à la corrosion, par exemple de l'acier galvanisé à chaud (85 µm minimum). Dans un environnement peu agressif, ils peuvent être en acier inoxydable de type A2 <sup>(7)</sup>, en acier galvanisé à chaud (55 µm minimum) ou en alliage d'aluminium (série 5XXX ou 6XXX, anodisé ou thermolaqué).

### 6.2.2 VISSERIE POUR CROCHETS

Les vis et tire-fonds qui fixent les crochets dans la charpente sont protégés des précipitations, mais peuvent être en contact avec l'environnement extérieur ainsi qu'avec de la condensation. Dans un environnement agressif, ils doivent être en acier inoxydable de type A4 <sup>(6)</sup> ou offrir une protection équivalente. Dans un environnement peu agressif, ils doivent satisfaire aux exigences en vigueur pour les assemblages mécaniques d'éléments en bois.

Pour éviter d'abîmer le revêtement protecteur des vis (galvanisation, par exemple) ou de casser ces dernières lors du montage, il est recommandé de ne pas forcer leur introduction dans le bois et de respecter la vitesse naturelle de vissage.

### 6.2.3 PROFILÉS D'ÉTANCHÉITÉ

Les profilés d'étanchéité sont généralement réalisés en zinc, en plomb, en cuivre, en aluminium ou en matériau synthétique. Ces métaux présentent une très bonne résistance à la corrosion grâce à la formation d'une couche superficielle d'oxydation. Lors de la formation de cette patine, les profilés peuvent changer d'aspect et des coulées sont susceptibles d'apparaître sur les éléments en aval. Il faut absolument empêcher que ces coulées ne se produisent sur la surface

vitree des capteurs solaires. Les éléments d'étanchéité peuvent être recouverts, lors de leur fabrication ou sur chantier, d'une couche de protection spécifique (laque, par exemple) qui permet d'éviter la formation de la patine et l'apparition des coulées. On veillera à ne pas abîmer cette couche de protection lors de la mise en œuvre en toiture.

Il est recommandé d'utiliser le même matériau pour l'ensemble des raccords d'étanchéité. Si la combinaison du zinc, du plomb et de l'acier inoxydable n'est généralement pas sujette à caution, il n'en va pas de même pour l'aluminium, qui ne doit pas être mis en contact avec le plomb. On évitera également de combiner le cuivre avec le zinc, l'aluminium ou le plomb. De manière générale, pour éviter les coulées liées à la formation de la patine, le plomb ne sera de préférence pas utilisé en amont des capteurs. Il existe des profilés plissés en zinc et en aluminium qui s'adaptent très bien à la forme des tuiles et qui peuvent, si nécessaire, remplacer les éléments en plomb.

En général, l'épaisseur recommandée pour les profilés d'étanchéité peut varier entre 0,5 mm et 2 mm, selon le type de matériau et son usage (par exemple, s'il est autoportant ou s'il doit être soutenu). Il convient donc de prendre les renseignements nécessaires auprès du fabricant.

La longueur de ces éléments ne pose généralement pas de problème, sauf pour le plomb qui risque de se déchirer lors des cycles de dilatation thermique. L'utilisation de plomb plissé permet de limiter ce problème et d'augmenter les longueurs admissibles. Toutefois, quel que soit le matériau utilisé, lorsque les longueurs sont importantes, il est essentiel de vérifier que la dilatation thermique des profilés est compatible avec la technique de mise en œuvre, ou de réduire les dimensions des profilés et de réaliser des recouvrements étanches.

<sup>(6)</sup> Acier inoxydable de qualité X5CrNiMo17 2 2 selon la norme NBN EN 10088-1 ou de qualité 316 selon l'AIISI (*American Iron and Steel Institute*).

<sup>(7)</sup> Acier inoxydable de qualité X5CrNi 18-10 selon la norme NBN EN 10088-1 ou de qualité 304 selon l'AIISI.



# 7

## GESTION DU PROJET

Une mise en œuvre de qualité des capteurs solaires en toiture nécessite d'accorder une attention particulière aux étapes suivantes :

- étude de faisabilité
- montage de l'installation
- accessibilité de la toiture
- possibilités de démontage et de remplacement.

### 7.1 ETUDE DE FAISABILITÉ

L'étude de faisabilité est l'étape initiale qui permet de déterminer si une toiture est apte à recevoir l'installation solaire

souhaitée. Si, à l'issue de cette étude, il apparaît que ce n'est pas le cas, des modifications doivent être apportées, par exemple au niveau de la toiture, des capteurs ou des techniques de fixation, pour que l'ensemble soit compatible.

L'étude de faisabilité nécessite un état des lieux de la toiture au cours duquel un certain nombre de points sont à prendre en considération; les plus importants d'entre eux sont repris dans une *check-list* présentée en annexe (p. 53).

L'étude de faisabilité doit en tout cas permettre de répondre aux questions formulées ci-dessous.

#### **La toiture possède-t-elle une durée de vie supérieure à celle de l'installation solaire ?**

Une installation solaire conçue et entretenue correctement présente une durée de vie attendue d'au moins 20 ans. Si la toiture possède une durée de vie résiduelle inférieure à 20 ans, les futures réparations impliqueront le démontage complet des capteurs et du système de fixation et d'étanchéité, entraînant un risque supplémentaire d'endommager les composants de l'installation solaire.

Il est également utile de s'interroger sur la future affectation des espaces situés sous la toiture, notamment lorsque celle-ci est dépourvue de sous-toiture. La réalisation correcte d'une isolation thermique implique en effet la présence d'une sous-toiture, dont le placement ultérieur nécessiterait le démontage de l'installation solaire.

Un état des lieux initial permet de prendre connaissance de l'état de la toiture et de sa composition. Il sert également à estimer sa durée de vie résiduelle ainsi que les éventuelles réparations à prévoir avant le placement des capteurs. La connaissance de la composition de la toiture (section et écartement des chevrons, par exemple) permet de choisir les techniques et les accessoires de fixation adéquats. Le rapport d'état des lieux pourra être utilisé pour dresser un état des lieux comparatif à la fin des travaux.

#### **La toiture peut-elle supporter durablement la charge supplémentaire générée par les capteurs solaires ?**

La présence des capteurs solaires en toiture et la circulation des travailleurs pendant le montage augmentent les contraintes exercées sur la toiture et sur la charpente. La plupart des toitures à versants en bon état sont capables de reprendre cette charge supplémentaire sans déformation excessive. Toutefois, pour des toitures vétustes présentant des signes apparents de faiblesse ou dont la structure est fragilisée (poutres rouillées ou rongées par les insectes), un renforcement peut s'avérer nécessaire. Inversement, la taille de l'installation solaire et le type de matériel employé peuvent être adaptés en fonction de la capacité portante.

#### **La toiture offre-t-elle une configuration de pose permettant un rendement satisfaisant de l'installation ?**

Une toiture présente une inclinaison et une orientation déterminées dont il est techniquement (et esthétiquement) difficile de s'écarter pour le montage des capteurs solaires (usage de chevalets orientables, par exemple). De plus, certains versants peuvent se trouver à l'ombre durant de longues périodes de la journée en raison de la végétation ou de bâtiments situés à proximité. Il n'est pas toujours aisé de déterminer si la mise en œuvre d'une installation solaire se justifie pleinement. Les critères à prendre en compte peuvent dépendre, par exemple, d'exigences locales pour l'octroi de primes, du coût de l'installation et de l'impact de celle-ci sur la toiture. Les aspects énergétiques liés au montage de l'installation solaire en toiture sont traités au chapitre 2 (p. 7).

## 7.2 MONTAGE EN TOITURE

Toutes les précautions réglementaires doivent être prises pour assurer la sécurité des travailleurs pendant la durée du chantier et pour protéger le bâtiment, les environs et les composants de l'installation solaire. Il convient notamment de respecter les prescriptions relatives aux travaux en hauteur. Le site Internet du Comité national d'action pour la sécurité et l'hygiène dans la construction ([www.cnac.constructiv.be](http://www.cnac.constructiv.be)) peut être consulté pour obtenir plus d'informations à ce sujet.

La mise en œuvre pourra être grandement facilitée si le dispositif de fixation des capteurs est bien adapté à la configuration de la toiture. Cela concerne principalement la compatibilité entre les crochets de fixation et les éléments de couverture (type, forme et taille), ainsi que la section et la position des éléments de charpente. Le montage en toiture doit être effectué selon les prescriptions du chapitre 5 de la présente Note d'information technique (voir p. 19). Il est également nécessaire de réaliser un dimensionnement de la résistance de ces fixations sous l'effet du vent, dimensionnement qui peut s'opérer à l'aide de l'**outil de calcul** disponible sur le site Internet du CSTC (rubrique 'Outils de calcul').

## 7.3 DOSSIER D'INTERVENTION ULTÉRIEURE

Les informations concernant l'installation solaire que doit reprendre le dossier d'intervention ultérieure sont mentionnées en annexe à cette Note d'information technique (p. 53).

## 7.4 ACCESSIBILITÉ DE LA TOITURE

La plupart des toitures à versants ne sont pas équipées pour faciliter l'accès des travailleurs. Pourtant, le placement de capteurs solaires en toiture peut entraîner une augmentation de la fréquence d'accès, non seulement en raison du montage de l'installation, mais aussi dans le but d'effectuer des tâches telles que :

- l'inspection, l'entretien et le nettoyage éventuel de l'installation
- le remplacement des capteurs défectueux.

De plus, la présence des capteurs peut potentiellement accroître la difficulté d'accès pour d'autres interventions en toiture, par exemple :

- ramonage d'un conduit de fumée ou entretien d'une installation technique
- réparation de la couverture et des ouvrages de raccord
- évacuation des personnes en cas d'incendie.

Le schéma de la figure 13 (p. 16) indique les zones pouvant potentiellement poser des problèmes d'accessibilité lors du montage des capteurs solaires.

Des dispositifs tels que des marchepieds ou des lignes de vie permettent de faciliter l'accès à certaines zones de la toiture et de protéger l'installation solaire en offrant une alternative sécurisée au chemin passant par les capteurs.

Il convient toutefois de noter que la plupart des couvreurs et des personnes amenées à travailler en toiture ne font pas totalement confiance aux dispositifs de sécurité existants, car ils ignorent de quelle manière ils ont été mis en œuvre, ni s'ils sont encore opérationnels. La confiance en ces dispositifs pourrait être améliorée grâce à des renseignements spécifiques fournis dans le dossier d'intervention ultérieure et à un contrôle régulier de ces dispositifs.

## 7.5 DÉMONTAGE ET REMPLACEMENT DES CAPTEURS SOLAIRES

Bien qu'une installation solaire soit prévue pour fonctionner pendant au moins 20 ans, certaines interventions sont parfois nécessaires durant cette période. Il peut s'agir, par exemple, de remplacer certains capteurs défectueux ou endommagés, ou encore d'effectuer certaines réparations sur les éléments de couverture situés à proximité.

Il est recommandé de prévoir, dès la conception de l'installation solaire, les moyens de démonter et de remplacer individuellement les capteurs défectueux ou endommagés, sans devoir enlever l'ensemble de l'installation. Certains systèmes ne se prêtent pas facilement au remplacement d'un élément.

Le remplacement d'un capteur photovoltaïque sur une installation en service induit un risque d'électrocution (voir la Note d'information technique Electricité 002 de Volta) [24]. Il convient de se renseigner au préalable au sujet des dispositions à prendre pour limiter ces risques. Quant au remplacement d'un capteur thermique, il comporte un risque de brûlures, dans la mesure où la température du liquide caloporteur peut largement dépasser les 100 °C.

### 7.5.1 MONTAGE EN SURIMPOSITION

Les capteurs défectueux peuvent être démontés en dévissant les pinces qui les maintiennent aux rails métalliques. Selon les dispositifs de fixation, il est parfois possible de remplacer individuellement chaque capteur. Il peut cependant être nécessaire de retirer les autres capteurs de la rangée ou de la colonne considérée lorsqu'ils sont glissés dans le dispositif

de fixation. Etant donné qu'il est vivement déconseillé de marcher sur les capteurs et sur les dispositifs de fixation, retirer une rangée ou une colonne complète est parfois la seule manière d'accéder au capteur défectueux, lorsque ce dernier n'est pas situé à la périphérie de l'installation.

### 7.5.2 MONTAGE EN INTÉGRATION

Les éléments de fixation des capteurs sont généralement placés sous des profilés d'étanchéité. L'enlèvement d'un capteur passe donc généralement par la dépose des éléments périphériques d'étanchéité, ce qui nécessite éventuellement de démonter les éléments de couverture adjacents. Une fois le remplacement effectué, la remise en place des profilés d'étanchéité peut imposer le remplacement de certains joints d'étanchéité.

Lorsqu'on insère des vis de fixation dans leur emplacement initial au sein d'une structure en bois, il y a lieu de vérifier que le nouvel assemblage est suffisamment résistant. Pour maintenir un assemblage de qualité suffisante, il est parfois nécessaire d'utiliser des vis d'un diamètre supérieur. Lorsque cela ne s'avère pas possible, il est également envisageable de remplacer l'élément de support dans lequel les vis doivent être fixées.

## 7.6 AUTRES ÉLÉMENTS D'INTÉRÊT

### 7.6.1 RECYCLAGE DES CAPTEURS PHOTOVOLTAÏQUES

La durée de vie attendue d'un capteur photovoltaïque est d'au moins 20 ans; cela signifie que les installations photovoltaïques entrées en service à partir de 2008 (début du plan *Solwatt* en Wallonie) seront progressivement démantelées à partir de 2028. Actuellement, les capteurs photovoltaïques sont principalement déclassés à la suite de mauvaises manipulations ou de défauts de fabrication, avant d'être placés en toiture. Les volumes disponibles pour le recyclage vont progressivement augmenter avec le vieillissement inexorable des installations existantes.

Aujourd'hui, le taux de recyclage d'un capteur photovoltaïque s'élève à environ 80-85 %; dans le futur, cette valeur pourrait grimper jusqu'à 95 %. Les principaux éléments recyclés sont l'aluminium provenant du cadre, le verre de la face supérieure du module et le silicium contenu dans les cellules photovoltaïques. Ces différents éléments sont remis en circulation via les filières respectives existantes.

La récupération des capteurs solaires déclassés est assurée par l'association *PV Cycle*. Ces capteurs peuvent être dépo-

sés gratuitement dans des points de collecte à travers toute l'Europe. La liste des points disponibles en Belgique est consultable sur le site Internet [www.pvcycle.be](http://www.pvcycle.be).

### 7.6.2 MANUTENTION DES CAPTEURS PHOTOVOLTAÏQUES

Les capteurs photovoltaïques installés sur des toitures à versants sont généralement de type cristallin. Cela signifie qu'ils sont constitués de cellules de silicium interconnectées qui assurent la production d'électricité. Ces cellules sont encapsulées dans une résine (EVA ou silicone) et sont recouvertes, du côté exposé au soleil, par une feuille de verre trempé et, à l'arrière, par une membrane protectrice ou par une autre feuille de verre. La plupart des capteurs sont équipés d'un cadre en aluminium, qui augmente la rigidité et facilite la fixation. Certains capteurs sont conçus pour être fixés sans cadre en toiture, ce qui réduit sensiblement leur impact visuel.

La feuille de verre et le cadre d'un capteur possèdent une résistance aux chocs et aux déformations bien supérieure à celle des cellules de silicium, qui sont très fragiles. Dès lors, un module ayant subi un choc ou une déformation peut sembler visuellement intact, alors qu'une partie non négligeable des cellules photovoltaïques est irrémédiablement abîmée. Selon le type de déformation subi par le module, les cellules peuvent être microfissurées ou complètement fendues et fragmentées. Ces dégâts non visibles contribuent à réduire la durée de vie du capteur et ses performances.

De tels dommages peuvent être mis en évidence à l'aide de techniques d'observation telles que l'électroluminescence; celle-ci consiste à cartographier les cellules d'un module en utilisant sa capacité à produire de la lumière lorsqu'il est soumis à une tension et à un courant électriques. Dans l'exemple illustré à la figure 53 (p. 50), les taches noires visibles par électroluminescence correspondent à des cellules dégradées.

Etant donné qu'une inspection visuelle ne permet pas de vérifier l'intégrité des cellules d'un capteur photovoltaïque, il est essentiel d'être attentif à leur manipulation durant toutes les étapes de transport, de stockage, de préparation, de montage et d'entretien. A ce titre, on peut citer les précautions suivantes :

- conserver les capteurs aussi longtemps que possible dans leur emballage d'origine, afin de les protéger des griffures et de minimiser l'effet des chocs éventuels. L'état de l'emballage permet généralement de juger des dégâts potentiels subis par les capteurs
- les maintenir attachés lors du transport, afin d'éviter les chocs entre les éléments et avec les parois du véhicule.

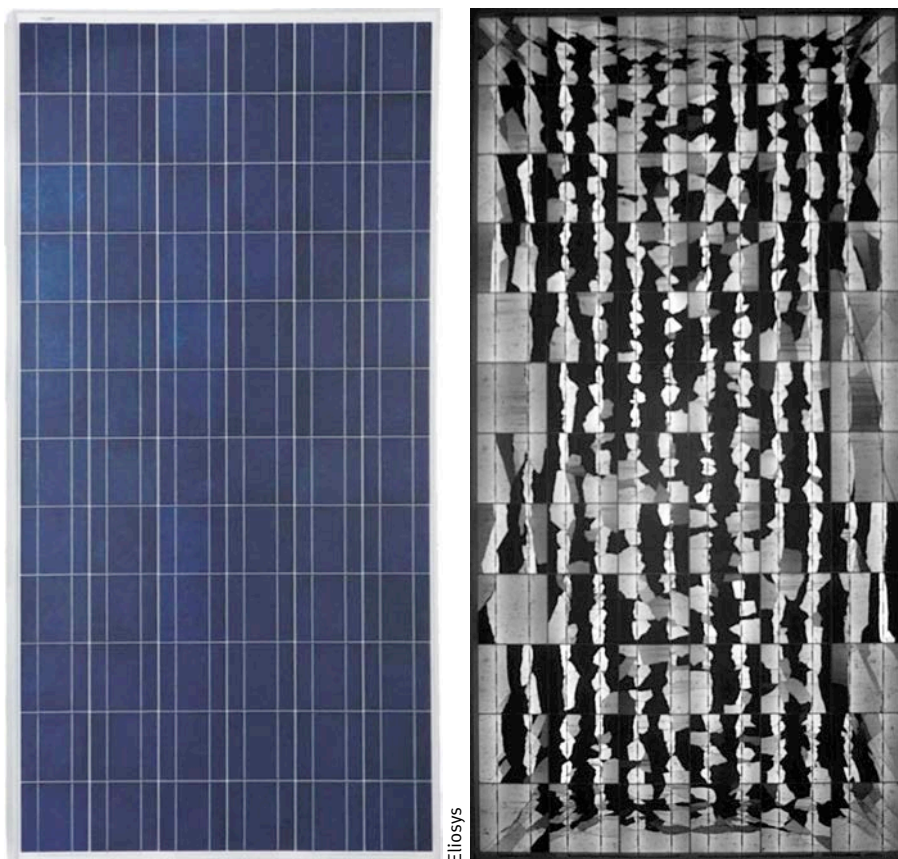


Fig. 53 Visualisation par électroluminescence des dégâts d'un module apparemment intact à l'œil nu.

L'utilisation du râteau de transport avec un fond en mousse est très efficace

- sur le chantier, les poser à la verticale, à l'écart de l'activité et éviter d'y déposer quoi que ce soit. La pose verticale est préférable, mais pas toujours évidente; à défaut, les capteurs seront disposés bien à plat
- lors du montage en toiture, vérifier que le système de fixation ne déforme pas les capteurs. Il faut privilégier un système de fixation ajustable permettant d'adapter la position des fixations en fonction de la forme ou des défauts de planéité de la toiture et tenant compte de la dilatation thermique.

#### Mais surtout, il est vivement déconseillé :

- de marcher sur les capteurs solaires ou d'y laisser tomber des outils
- de les frotter les uns aux autres au niveau des arêtes de cadres
- de les laisser tomber
- de les sangler trop vigoureusement.

### 7.6.3 PLANIFICATION DU CHANTIER

En construction neuve, il est recommandé d'inclure l'installation solaire dans la conception du bâtiment et de ne pas la considérer comme un élément supplémentaire pouvant être ajouté ultérieurement. Cette anticipation permet de mener une réflexion sur les performances de l'installation en terme d'orientation et d'inclinaison des versants. Elle offrira également l'opportunité de prévoir des moyens pour faciliter la mise en œuvre des capteurs, par exemple en utilisant des chevrons de plus forte section pour fixer les crochets et en décidant des moyens de rendre étanches les percements de la toiture pour le passage des câbles et des conduits. Une planification de ces tâches dès la conception de la toiture aura pour effet de limiter les interventions ultérieures et d'empêcher d'endommager inutilement une réalisation neuve.

Le placement des capteurs solaires avant la pose de l'isolant permet de vérifier visuellement si les éléments de fixation (vis ou tire-fonds) sont correctement positionnés dans la charpente ou s'ils transpercent la sous-toiture et aboutissent dans le vide.

#### 7.6.4 INSPECTION DE L'INSTALLATION SOLAIRE

L'inspection de l'installation solaire est réalisée selon les prescriptions du [Guide de l'entretien](#) du CSTC [10]. Des inspections supplémentaires sont recommandées à la suite d'intempéries violentes (grêle, vent, orage, par exemple) susceptibles d'endommager le matériel.

Bien que rien ne remplace une inspection visuelle de l'installation, il est possible de détecter un certain nombre d'anomalies grâce à un monitoring de la production d'énergie. Une chute significative de la production est le signe concret d'une anomalie sur les capteurs, sur le câblage électrique ou sur les conduits hydrauliques. Ce type de défaut n'est pas toujours facile à détecter (éventuellement invisible) lors d'une inspection de routine. Pour des installations de grande taille, le coût supplémentaire du monitoring est faible par rapport à l'investissement initial et peut contrebalancer le manque à gagner en cas de panne prolongée.

#### 7.6.5 ENTRETIEN DE L'INSTALLATION

Les capteurs solaires placés en toiture ne nécessitent *a priori* aucun entretien périodique, hormis un éventuel nettoyage de leur surface et des éléments de raccordement à la couverture dans le cas de capteurs intégrés.

#### 7.6.6 NETTOYAGE DE L'INSTALLATION

La présence d'une couche superficielle de salissures diminue le rayonnement qui atteint le capteur, et donc la productivité de celui-ci. Il importe dès lors de maintenir la surface des capteurs propre. Le nettoyage de l'installation solaire, comme son inspection, doit être réalisé selon les prescriptions du [Guide de l'entretien](#) précité [10]

Il est toutefois recommandé d'adapter la fréquence de nettoyage aux besoins réels, toutes les installations solaires ne nécessitant pas un nettoyage périodique.



Fig. 54 Présence de feuilles mortes sur des capteurs solaires photovoltaïques.



## ANNEXE

# Etat des lieux de la toiture et de l'installation solaire

### 1 Inspection de la toiture

Pour pouvoir envisager l'installation de capteurs solaires, il est nécessaire que la durée de vie résiduelle de la toiture et de la couverture soit supérieure à 20 ans. La *check-list* fournie ci-après (p. 54) reprend les principaux points à prendre en considération lors de l'état des lieux de la toiture (cf. § 7.1, p. 47). Cette liste est indicative; il se peut en effet que certaines parties de la toiture ne puissent être inspectées, par exemple parce qu'elles ne sont pas accessibles ou parce que des éléments de finition intérieure les masquent. Elle permet dans tous les cas d'informer les intervenants au sujet de l'état de la toiture.

### 2 Dossier d'intervention ultérieure

Lorsque le montage de l'installation solaire est finalisé, les informations suivantes au sujet de l'état réel de l'installation devront figurer dans le dossier d'intervention ultérieure :

- la référence et les spécifications techniques des modules photovoltaïques ou des capteurs thermiques
- la liste d'inspection complétée et signée lors de la réception (voir la *check-list* page 54)
- les plans techniques et d'implantation reprenant les données ci-après :
  - détails de la structure portante, méthode de fixation à la structure du toit
  - équipements de sécurité : balustrades, lignes de vie, crochets d'échelle, chemins d'accès et plateformes
  - obstacles potentiels, ombrage
  - plan de branchement des modules
  - position des panneaux : dimensions, tracé, pente, orientation
- les manuels d'utilisation et d'entretien
- la vérification de la charpente et la description des renforcements éventuels
- le calcul de l'ancrage des panneaux sur la base des diverses charges (poids propre, charge due au vent, etc.).

### 3 Dimensionnement des ancrages

Les ancrages assurent une liaison mécanique durable entre l'installation solaire et la charpente. Ils doivent être capables de supporter le poids propre de l'installation ainsi que les charges de vent et de neige qu'elle devra reprendre. Les ancrages sont dimensionnés pour résister à l'arrachement; leur déformation doit être compatible avec l'intégrité des éléments de couverture situés à proximité.

Les charges de vent et de neige sur les parois des bâtiments sont décrites dans les Eurocodes. Cependant, les capteurs étant des éléments rapportés aux parois, une méthode plus adaptée est nécessaire. Pour des installations solaires placées parallèlement au plan de la couverture, en intégration ou en surimposition, selon des inclinaisons comprises entre 15° et 75°, le CSTC a développé une méthode de dimensionnement des ancrages (voir [Calcul au vent de l'ancrage des structures des capteurs solaires](#)) pouvant être appliquée à l'aide de l'**outil de calcul** disponible sur son site Internet (rubrique 'Outils de calcul'). Cet outil permet de déterminer le nombre et le type de vis ou de tire-fonds qui doivent être employés par ancrage en fonction des différents paramètres du chantier (situation géographique et topographique, forme et hauteur du bâtiment, position des capteurs solaires en toiture, etc.). Il est essentiel de garder à l'esprit que l'outil de calcul ne livre qu'une indication sur la résistance de l'ancrage. C'est en effet la qualité de la mise en œuvre qui détermine au final les performances réelles de l'assemblage. L'outil ne donne pas davantage de garantie quant à la résistance des crochets de fixation et des rails en aluminium, qui relève de la responsabilité du fabricant. Les règles de bonne pratique pour la mise en œuvre des éléments de fixation sont décrites au chapitre 5 (p. 19).

Check-list de la toiture.

INTÉRIEUR	OUI	NON	Sans objet	Non inspecté
<b>Présence d'amiante</b>				
<b>Éléments porteurs (pannes, chevrons, fermettes) :</b>				
• dégâts :				
– bois : pourriture, moisissures, décolorations, insectes, fissures, odeur putride, colles délaminiées, résidus de bois sur le plancher				
– acier : corrosion				
– béton : effritement, corrosion des armatures				
• flèche et déformation limitées				
• points d'appui et fixations stables				
<b>Barrière d'étanchéité à l'air :</b>				
• présente ?				
• en bon état, non perforée, raccords soignés				
<b>Isolation thermique :</b>				
• suffisante compte tenu de l'affectation des locaux				
• en bon état : aucune trace ou accumulation d'humidité, panneaux bien jointifs				
<b>Sous-toiture :</b>				
• présente ?				
• type adapté au climat intérieur				
• en bon état, absence de fuites, chevauchements suffisants				
<b>Lattes, contre-lattes ou voliges :</b>				
• dégâts				
• fixations stables				
<b>Traces d'humidité ou de moisissure sur le toit ou dans le local sous-jacent</b>				
<b>EXTÉRIEUR</b>				
<b>Présence d'amiante</b>				
<b>Éléments de toiture (tuiles, ardoises, bandes métalliques, etc.) :</b>				
• position correcte, fixations stables, raccords intacts entre éléments				
• dégâts : éléments manquants, fissures, écaillage, décolorations, corrosion				
• bonne compatibilité des métaux entre eux				
<b>Présence de mousses, de salissures, d'algues, de végétation</b>				
<b>Bon drainage, pente suffisante</b>				
<b>Sous-toiture :</b>				
• présente ?				
• type adapté au climat intérieur				
• en bon état, absence de fuites, chevauchements suffisants				
<b>Lattes, contre-lattes ou voliges :</b>				
• dégâts				
• fixations stables				
<b>Distance de recouvrement</b>	<input type="checkbox"/> Formule CSTC		<input type="checkbox"/> Garantie du fabricant	

# BIBLIOGRAPHIE

## Bouquegneau C. et Cailleux E.

1. Les installations photovoltaïques et la foudre. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, Les Dossiers du CSTC, n° 4, Cahier 5, 2010.

## Bureau de normalisation (Bruxelles, NBN, [www.nbn.be](http://www.nbn.be))

2. NBN EN 1995-1-1 Eurocode 5 Conception et calcul des structures en bois. Partie 1-1 : Généralités. Règles communes et règles pour les bâtiments (janvier 2005).
3. NBN EN 13501-1 Classement au feu des produits et éléments de construction. Partie 1 : classement à partir des données d'essais de réaction au feu (janvier 2010).
4. NBN EN 13501-5 Classement au feu des produits et éléments de construction. Partie 5 : classement utilisant des données d'essais au feu des toitures exposées à un feu extérieur (juillet 2016).
5. NBN EN 62305-1 Protection contre la foudre. Partie 1 : principes généraux (avril 2011).
6. NBN EN 62305-2 Protection contre la foudre. Partie 2 : évaluation du risque (juillet 2012).
7. NBN EN 62305-3 Protection contre la foudre. Partie 3 : dommages physiques sur les structures et risques humains (avril 2011).
8. NBN EN 62305-4 Protection contre la foudre. Partie 4 : réseaux de puissance et de communication dans les structures (avril 2011).

## Centre scientifique et technique de la construction (Bruxelles, CSTC, [www.cstc.be](http://www.cstc.be))

9. Edition spéciale : la construction en bois. CSTC-Contact n° 1, 2013.
10. Guide de l'entretien pour des bâtiments durables. Monographie, 2011.
11. NIT 195 Toitures en ardoises naturelles. 1<sup>ère</sup> partie : conception et mise en œuvre (1995).
12. NIT 212 Code de bonne pratique pour l'installation des chauffe-eau solaires (1999).
13. NIT 221 La pose des vitrages en feuillure (2001).
14. NIT 225 Toitures en plaques ondulées de fibres-ciment : matériaux – composition – réalisation (2002).
15. NIT 240 Toitures en tuiles (2011).
16. NIT 251 L'isolation des toitures à versants (2014).
17. NIT 254 Obturation résistant au feu des traversées de parois résistant au feu. Prescriptions et mise en œuvre (2015).
18. NIT 255 L'étanchéité à l'air des bâtiments (2015).

## D'Orazio M., Di Perna C. et Di Giuseppe E.

19. Performance assessment of different roof integrated photovoltaic modules under Mediterranean Climate. Elsevier, Energy Procedia, volume 42, p. 183-192, 2013.

....

20. Planning and Installing Photovoltaic Systems. A guide for installers, architects and engineers. Londres, Earthscan, second edition, 2009.

....

21. Roto Sunroof Handbook 2011.

## Service public fédéral Intérieur ([www.ibz.be](http://www.ibz.be))

22. Arrêté royal du 7 juillet 1994 et ses modifications (1997, 2003, 2007, 2009, 2012), fixant les normes de base en matière de prévention contre l'incendie et l'explosion, auxquelles les bâtiments nouveaux doivent

satisfaisant. Bruxelles, Moniteur belge, 26 avril 1995 (disponibles sur le site de l'Antenne Normes Prévention du feu [www.normes.be/feu](http://www.normes.be/feu)).

Union européenne ([www.europa.eu](http://www.europa.eu))

23. Règlement (UE) n° 305/2011 du Parlement européen et du Conseil du 9 mars 2011 établissant des conditions harmonisées de commercialisation pour les produits de construction et abrogeant la directive 89/106/CEE du Conseil. Strasbourg, Journal officiel de l'Union européenne, 4 avril 2011.

Volta (<http://volta-org.be>)

24. NITE 002 : Installations photovoltaïques. Bruxelles, Volta (Formelec – Tecnolec – FSE), Note d'information technique Electricité (NITE), 2015.

Editeur responsable : Jan Venstermans  
CSTC, Rue du Lombard 42  
1000 Bruxelles

## Recherche • Développe • Informe

Principalement financé par les redevances de quelque 85.000 entreprises belges représentant la quasi-majorité des métiers de la construction, le CSTC incarne depuis plus de 55 ans le centre de référence en matière scientifique et technique, contribuant directement à l'amélioration de la qualité et de la productivité.

### Recherche et innovation

L'introduction de techniques innovantes est vitale pour la survie d'une industrie. Orientées par les professionnels de la construction, entrepreneurs ou experts siégeant au sein des Comités techniques, les activités de recherche sont menées en parfaite symbiose avec les besoins quotidiens du secteur.

Avec l'aide de diverses instances officielles, le CSTC soutient l'innovation au sein des entreprises, en les conseillant dans des domaines en adéquation avec les enjeux actuels.

### Développement, normalisation, certification et agréation

A la demande des acteurs publics ou privés, le CSTC réalise divers développements sous contrat. Collaborant activement aux travaux des instituts de normalisation, tant sur le plan national (NBN) qu'europpéen (CEN) ou international (ISO), ainsi qu'à ceux d'instances telles que l'Union belge pour l'agrément technique dans la construction (UBAtc), le Centre est idéalement placé pour identifier les besoins futurs des divers corps de métier et les y préparer au mieux.

### Diffusion du savoir et soutien aux entreprises

Pour mettre le fruit de ses travaux au service de toutes les entreprises du secteur, le CSTC utilise largement l'outil électronique. Son site Internet adapté à la diversité des besoins des professionnels contient les ouvrages publiés par le Centre ainsi que plus de 1.000 normes relatives au secteur.

La formation et l'assistance technique personnalisée contribuent au devoir d'information. Aux côtés de quelque 650 sessions de cours et conférences thématiques impliquant les ingénieurs du CSTC, plus de 18.000 avis sont émis chaque année par la division Avis techniques.

### SIÈGE SOCIAL

Rue du Lombard 42, B-1000 Bruxelles  
Tél. 02/502 66 90  
Fax 02/502 81 80  
E-mail : [info@bbri.be](mailto:info@bbri.be)  
Site Internet : [www.cstc.be](http://www.cstc.be)

### BUREAUX

Lozenberg 7, B-1932 Sint-Stevens-Woluwe  
Tél. 02/716 42 11  
Fax 02/725 32 12

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

### STATION EXPÉRIMENTALE

Avenue Pierre Holoffe 21, B-1342 Limelette  
Tél. 02/655 77 11  
Fax 02/653 07 29

- Recherche et innovation
- Formation
- Bibliothèque

### CENTRE DE DÉMONSTRATION ET D'INFORMATION

Marktplein 7 bus 1, B-3550 Heusden-Zolder  
Tél. 011/79 95 11  
Fax 02/725 32 12

- Centre de compétence TIC pour les professionnels de la construction (ViBo)
- Centre d'information et de documentation numérique pour le secteur de la construction et du béton (Betonica)

### BRUSSELS MEETING CENTRE

Boulevard Poincaré 79, B-1060 Bruxelles  
Tél. 02/529 81 29

### BRUSSELS GREENBIZZ

Rue Dieudonné Lefèvre 17, B-1020 Bruxelles  
Tél. 02/233 81 10



### **Buildwise Zaventem** **Siège social et bureaux**

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

E-mail : [info@buildwise.be](mailto:info@buildwise.be)  
Site Internet : [buildwise.be](http://buildwise.be)

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

### **Buildwise Limelette**

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

- Recherche et innovation
- Formation
- Bibliothèque

### **Buildwise Brussels**

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

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

## **Votre centre de recherche devient centre d'innovation**

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

## **Dynamiser le partage des connaissances et les interconnexions**

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

## **De la multidisciplinarité à la transdisciplinarité**

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