

FORMATION BÂTIMENT DURABLE

INSTALLATIONS TECHNIQUES EN RÉNOVATION UNIFAMILIALE

AUTOMNE 2024

Focus sur le photovoltaïque

Cadre réglementaire, technologies, intégration





- ▶ Evaluer le potentiel d'une installation PV
- ▶ Passer en revue les différents emplacements et solutions techniques possibles.
- ▶ Lister les aides et primes existantes ainsi que les démarches administratives à réaliser.
- ▶ Parcourir les différents équipements d'une installation PV et les points d'attention qui y sont liés.



POTENTIEL

COMPOSANTS

IMPLANTATION

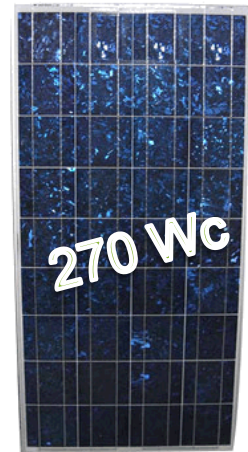
FINANCEMENT

DÉMARCHES ADMINISTRATIVES



Watt-crête (Wc)

- ▶ puissance électrique maximale fournie dans des conditions standard de test (STC):
 - un ensoleillement de 1.000 W/m^2 ;
 - une température des panneaux de 25°C ;
 - une répartition spectrale du rayonnement dit AM 1.5 (rayonnement solaire parvenant au sol après avoir traversé l'atmosphère à 45°)
- Panneau standard $\approx 190\text{-}210 \text{ W/m}^2$
- Panneau BIPV $\approx 150 \text{ W/m}^2$



Silicium polycristallin

Wattheure (Wh)

- ▶ 1 Watt-heure

= énergie consommée ou délivrée par un système d'une puissance de 1 Watt pendant une heure.



Estimer les besoins électriques: combien et quand?

- ▶ Bâtiment résidentiel (Logement unifamilial $\approx$ 2.000 à 3.500 kWh/an)
 - Quels équipements électriques?
 - PAC?
 - Production d'ECS: Electrique?
 - Petits équipements

	Nombre de logements équipés	Taux de pénétration	Cons. spéc. par logement	Consom. totale
	milliers	% du parc	kWh/an	GWh/an
Réfrigérateurs	245	47%	280	68
Congélateurs	150	29%	375	56
Combiné R+C	313	60%	375	118
Lave-linge	376	72%	230	87
Sèche-linge	188	36%	280	53
Lave-vaisselle	230	44%	185	43
Micro-ondes	412	79%	57	23
Télévisions	478	92%	95	45
Ordinateurs	427	82%	95	41
Eclairage	520	100%	275	143
Petit électro	520	100%	250	130
Circulateurs	424	82%	90	38
Veille	520	100%	145	75
Consommation moyenne par logement			1 770	
Consom. totale d'électricité hors chauffage cuisson et ECS				920

Tableau 49 - Estimation de l'équipement électrique des ménages en 2011

Source : ICEDD

BILAN ENERGETIQUE DE LA REGION DE BRUXELLES-CAPITALE 2011



Electricité

- ✓ Petit consommateur : 600 kWh (heures pleines) (*profil Eurostat Da*)
Studio/appartement avec éclairage, réfrigérateur sans beaucoup d'électroménager.
- ✓ Consommateur médian : 2.036 kWh (heures pleines)
Médiane bruxelloise : habitation moyennement équipée et électroménager moyennement utilisé.
- ✓ Gros consommateur : 3.600 kWh (heures pleines) + 3.900 kWh (heures creuses)
(*profil Eurostat Dd*)
Grande famille avec chauffe-eau à accumulation électrique et nombreux électroménagers.

Source : Brugel

**Grande variabilité,
lissée ou non par un
grand nombre**

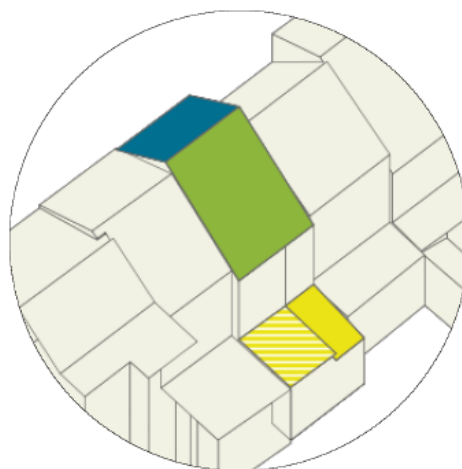
QUEL POTENTIEL?

Exercice

► Quel potentiel de production?

- Surfaces disponibles
- Orientation, inclinaison
- Ombrages
- ...

⇒ **Outil d'évaluation rapide:**
Carte solaire de la Région de Bruxelles-Capitale



- 28 m² Excellent potentiel
- 15 m² Bon potentiel
- 19 m² Faible potentiel (exclu du calcul)

Gain net sur 10 ans : 3 857 €

Ma toiture

64 m²	Surface totale
12 m²	Obstacles estimés
36 m²	Surface utilisable

Mon énergie

3 325 kWh/an	Production des panneaux
2 036 kWh/an	Consommation du ménage
36 %	Auto consommation
1,5 TCO2/an	Gain pour l'environnement

Mon installation

16	Nombre de panneaux
	Monocristallin
27 m²	Superficie installée
4,2 kWc	Puissance totale installée
25 ans	Durée de vie de l'installation

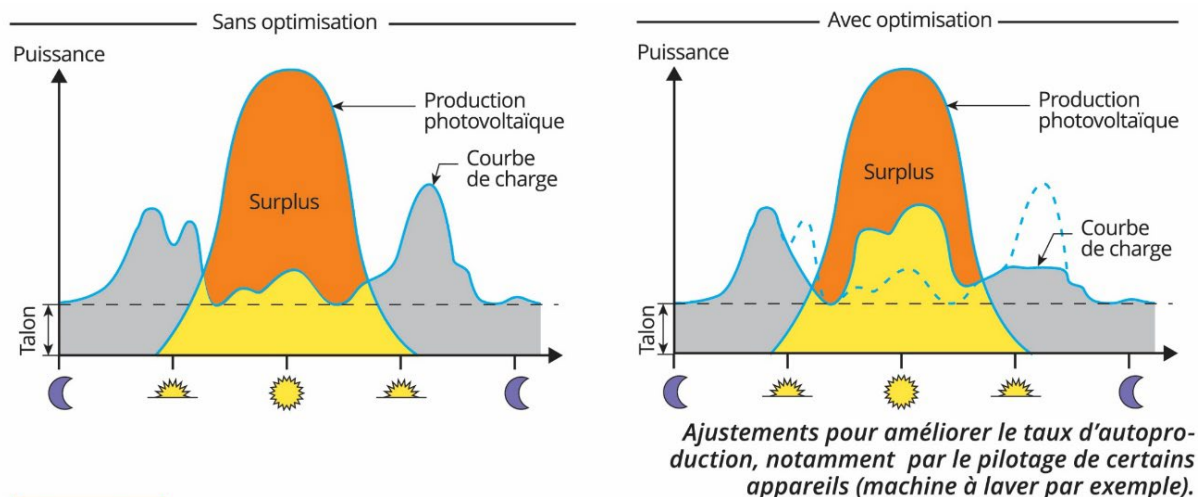
Mes finances

6 557 €	Prix d'achat TVAC
6 768 €	Gains certificat vert (10 ans)
10 673 €	Gain facture d'électricité sur 25 ans
4 326 €	Gains nets sur 25 ans
7 ans	Temps de retour actualisé



Autoconsommation

- ▶ Superposition des courbes besoin/production
- ▶ Changer ses habitudes de consommation
- ▶ Maximiser la concordance: viser min. 65 % d'autoconsommation
- ▶ Si autoconsommation < 50%, réduire le nombre de panneaux.
- ▶ Simulateur d'autoconsommation en résidentiel: www.autoconsommer.com



Lexique

$$\text{Taux d'autoconsommation} = \frac{\text{Production utilisée}}{\text{Production totale}} = \frac{\text{■}}{\text{■} + \text{■}}$$

$$\text{Taux d'autoproduction} = \frac{\text{Production utilisée}}{\text{Consommation totale}} = \frac{\text{■}}{\text{■} + \text{■}}$$



POTENTIEL

COMPOSANTS

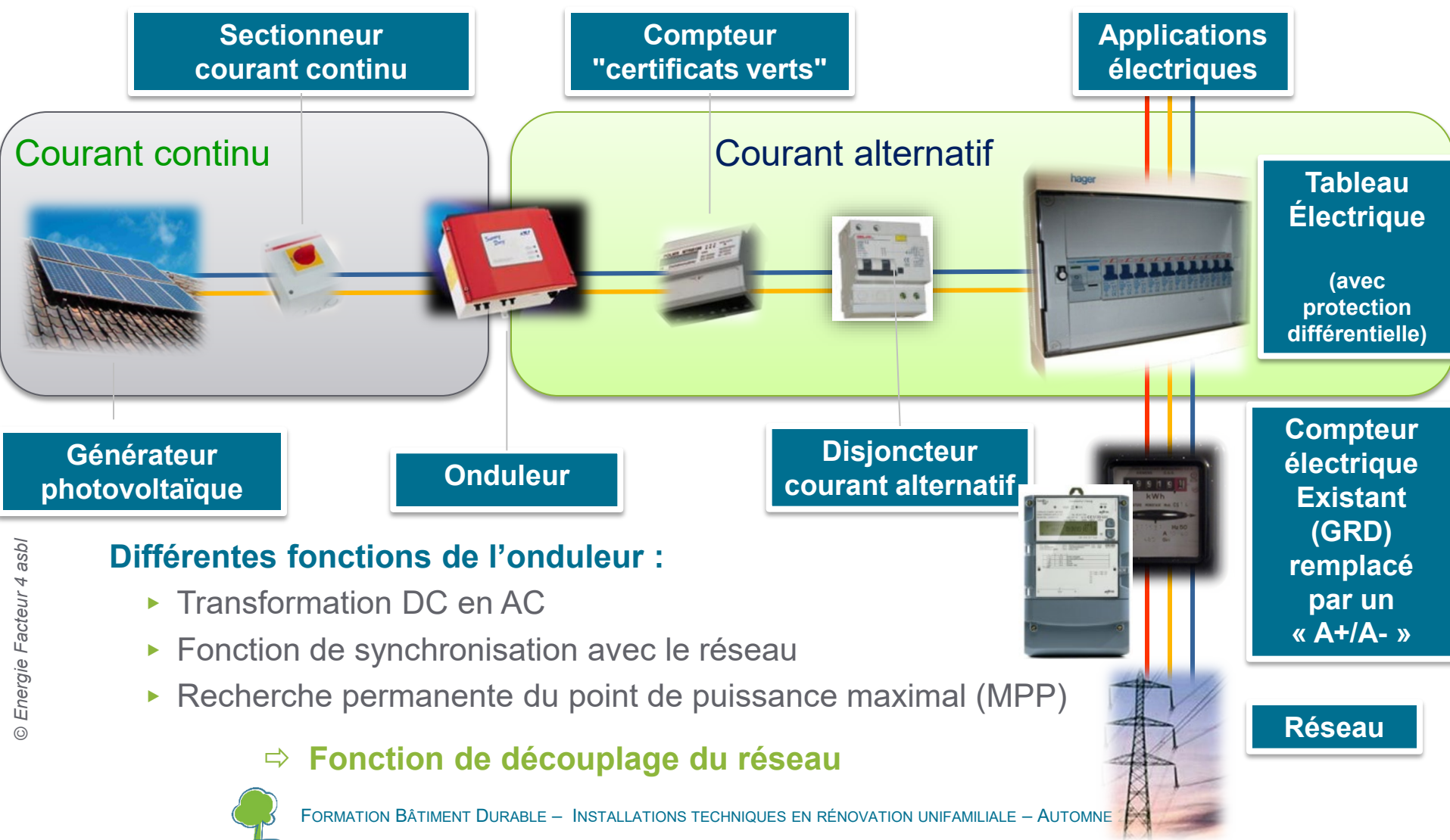
IMPLANTATION

FINANCEMENT

DÉMARCHES ADMINISTRATIVES



SCHÉMA DE SYSTÈME PV



	Cristallin		Couche mince	
	Mono	Poly	CIS	Amorphe
Rendement	16 – 24 %	14 – 18 %	11 – 18 %	4 – 10 %
Puissance Wc/m²	150 – 220	120 – 160	100 – 170	40 – 100
Surface nécessaire m²/kWc	4,6 – 6,6	6,2 – 8,3	6 – 10	10 – 25
Influence ombrage	☹️	☹️	😊	😊
Influence température	☹️	☹️	😊	😊

Source: Homegrade, 2020



MONTAGE DE L'ONDULEUR - Prescriptions générales

- ▶ Suivre les consignes d'installation établies par le fabricant dans son manuel d'installation (ex : distances de montage, protection, ventilation, etc.)
- ▶ Dans le cas d'une installation des onduleurs à l'extérieur, ils ne peuvent **pas être exposés plein Sud**.
S'il n'existe pas d'alternative, les onduleurs seront protégés par un pare-soleil.
Afin de pouvoir être installée à l'extérieur, la classe IP doit être minimum de 54.
- ▶ La classe de protection (IP) doit être prise en compte selon le lieu de montage choisi (ex : **IP 64** pour montage **extérieur** sans protection supplémentaire).
La liste des classes de protection et leurs applications du **RGIE** doivent être respectées.



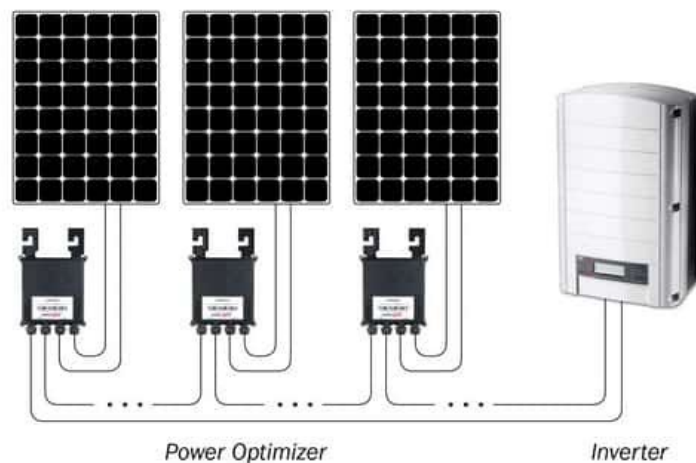
MONTAGE DE L'ONDULEUR - Prescriptions générales

- ▶ L'onduleur est placé idéalement dans un **espace frais** (afin d'éviter surchauffe). Il vaut mieux donc éviter les greniers non isolés même si cela diminue la longueur de câble en courant continu.
- ▶ L'onduleur est placé idéalement dans un **espace peu ou pas humide** (afin d'éviter corrosion) sauf si son IP le lui permet.
- ▶ L'installation dans les pièces de vie (salon, chambre à coucher) est déconseillée à cause du **léger bruit** qui peut s'en dégager lorsqu'il est actif.



LES OPTIMISEURS

- ▶ Suivi du point de puissance maximal (MPPT)
- ▶ Un optimiseur par module (panneau)
- ▶ Maximise le rendement de chaque panneau indépendamment
→ Permet d'optimiser une installation hétérogène (orientation, inclinaison, ombrage, etc.) avec un système à onduleur centralisé. Le rendement de l'installation n'est plus tributaire du panneau le plus défavorisé.



Source: SolarEdge



POTENTIEL

COMPOSANTS

IMPLANTATION

FINANCEMENT

DÉMARCHES ADMINISTRATIVES



OÙ INSTALLER DES PANNEAUX ?

En toiture ?

- ▶ Toiture inclinée
- ▶ Toiture plate

Au sol ?

- ▶ Ombrière (carport)
- ▶ Suiveur solaire
- ▶ Champ PV

En façade ?

- ▶ Surfaces opaques
- ▶ Surfaces vitrées

Autres emplacements?

- ▶ Verrière
- ▶ Garde-corps
- ▶ Protections solaires
- ▶ ...



Attention à l'ombrage

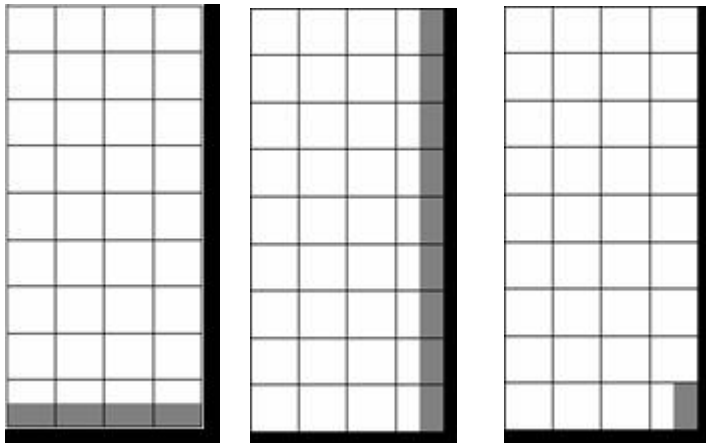
- ▶ Sources continues: Eléments de bâtiment en saillie, bâtiments voisins, cheminées, végétation, acrotères, gaines de ventilation, équipements techniques en toiture, garde-corps, poteaux électriques...
- ▶ Sources occasionnelles (entretien/conditions climatiques): salissures, feuilles mortes, neige, etc.
- ▶ Attention aux ombres portées importantes en cas de lumière rasante en début/fin de journée!

⇒ **Optimiser l'implantation via une étude d'ensoleillement**

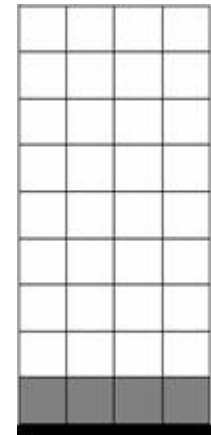


Attention à l'ombrage

- ▶ Impact non négligeable
- ▶ Cellules PV généralement en série → la cellule la plus faible va déterminer et limiter la puissance des autres cellules!



Exemples d'ombrage partiel qui peut réduire de **50%** la puissance d'un module.



Exemple d'ombrage total d'une rangée de cellules qui **peut réduire la puissance du module à... 0 !**

Source: Energie Facteur 4



Influence de l'orientation et de l'inclinaison des panneaux

- Optimum: orientation Sud et inclinaison à 35°

© www.ef4.be

		inclinaison par rapport à l'horizontale (°)						
		0	15	25	35	50	70	90
orientation	est	88%	87%	85%	83%	77%	65%	50%
	sud-est	88%	93%	95%	95%	92%	81%	64%
	sud	88%	96%	99%	max 100%	98%	87%	68%
	sud-ouest	88%	93%	95%	95%	92%	81%	64%
	ouest	88%	87%	85%	82%	76%	65%	50%

Source: apere.org



Quelle est la surface disponible ?

- ▶ En toiture
 - Déduire l'encombrement des autres équipements : cheminée, exutoire de fumée (encombrement ouvert), ...
 - Déduire les zones ombragées par le bâtiment et les équipements : acrotères , cheminée, ...
 - Prendre en compte les zones dédiées à la maintenance
 - Prendre en compte les zones dédiées à la sécurité : ligne de vie ...
 - Etc.
- ▶ Au sol
 - Déduire les zones ombragées par l'environnement
 - Déduire les zones utilisées (terrasses, accès...)
 - Etc.
- ▶ En façade
 - Déduire les zones ombragées par le bâtiment et l'environnement,
 - Déduire les ouvertures, grilles de ventilation ...
 - Etc.



Stabilité: Capacité portante de la toiture ?

- ▶ Charge statique
 - ▶ Charge dynamique (effet dû au vent)
 - Vertical vers le haut (arrachement)
 - Vertical vers le bas (compression)
 - Horizontal (cisaillement)
- ⇒ La toiture doit être capable de reprendre le poids des panneaux et du **lestage** / de l'**ancrage**
-
- ▶ Pour info
 - Surcharge due au panneau : ~ 15 kg/m²
 - Surcharge due au lestage : ~ 100 kg/m² min. (à adapter selon prise au vent)
 - Outil de calcul Buildwise - Ancrages des capteurs photovoltaïques



Durée de vie de la toiture

- ▶ État général de la toiture : Vérifier l'usure et les signes de dégradation (fuites, fissures).
- ▶ Durabilité des matériaux : La toiture doit avoir une durée de vie restante compatible avec celle des panneaux PV (~25 ans).
- ▶ Réparations ou rénovations nécessaires : Effectuer les travaux avant l'installation pour éviter des interventions coûteuses après.
- ▶ Étanchéité : S'assurer que l'étanchéité est intacte et durable pour prévenir des infiltrations d'eau.



Source: forumconstruire



Source: qualiteconstruction



Orientation «optimale »

- ▶ Production maximale par kWc
- ▶ Couverture 55% surface toiture
- ▶ Charge toiture élevée



Source: <http://groupe-electrogene.xtrmexport.com/>

Orientation Est-Ouest

- ▶ Production maximale par m²
- ▶ Couverture 85% surface toiture
- ▶ Faible charge toiture

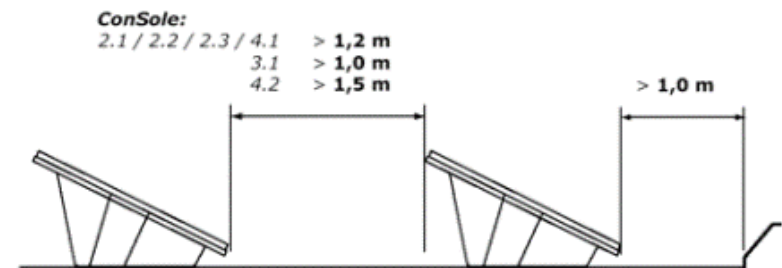


Source: <http://mm.stedebouwarchitectuur.nl>



Mode de fixation

- ▶ Supports en matériaux synthétiques remplis de graviers / blocs
 - Système modulaire avec pente intégrée
 - Densité : $\sim 50 \text{ Wc/m}^2$ de toiture
 - Charge surfacique moyenne : $> 80 \text{ kg / m}^2$
- ▶ Avantage et inconvénient :
 - + Mise en œuvre très simple
 - Peu de flexibilité (inclinaison, nombre de modules ...)



Mode de fixation

- ▶ Structure en métal lestée
 - Densité : $\sim 50\text{-}80 \text{ Wc/m}^2$ de toiture
 - Charge surfacique moyenne : $< 30 \text{ kg / m}^2$
- + Peu couteux



Source: Projet D'ieteren



Mode de fixation

- ▶ Structure métallique fixée au bâtiment
 - Densité : $\sim 50\text{-}80 \text{ Wc/m}^2$ de toiture
 - Charge surfacique moyenne : $< 20 \text{ kg / m}^2$

⇒ ⚠ à l'étanchéité au droit des fixations

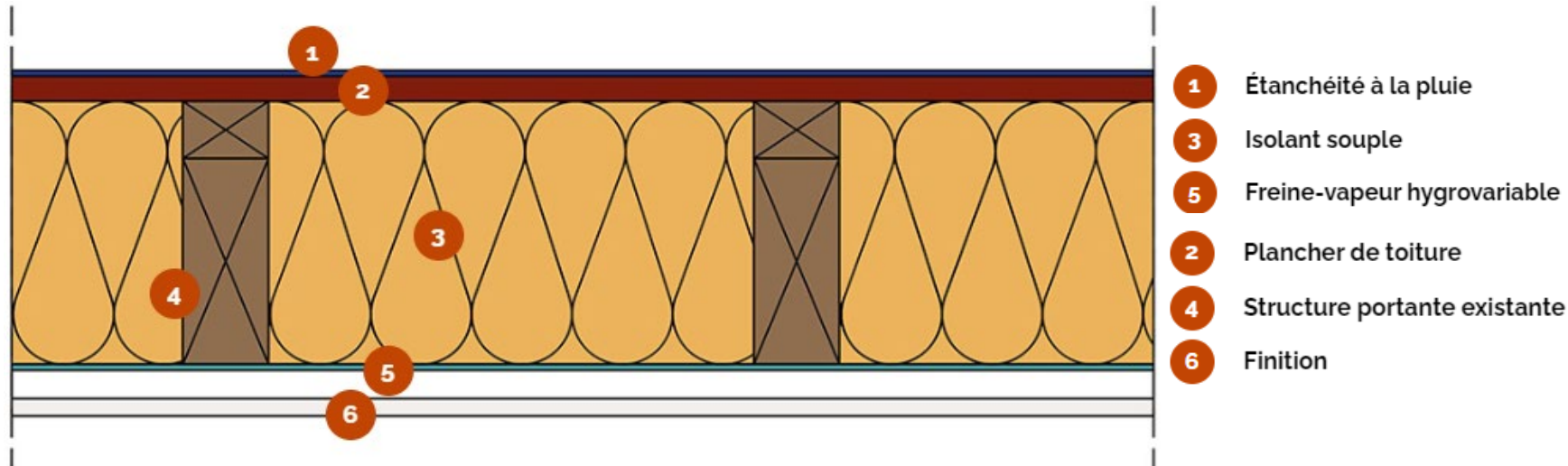


Source : Projet Limburgse Tuinbouwveiling, Herk-de-Stad



Point d'attention : toiture compacte + panneaux

- ▶ Toiture compacte = étanchéité, isolation, support en une seule couche
- ▶ Condition à respecter pour éviter les risques de condensation
 - Exposition solaire
 - Ventilation libre
- ▶ Problème
 - Ombrage dû aux panneaux = refroidissement de la toiture = risque de condensation



Source : homegrade



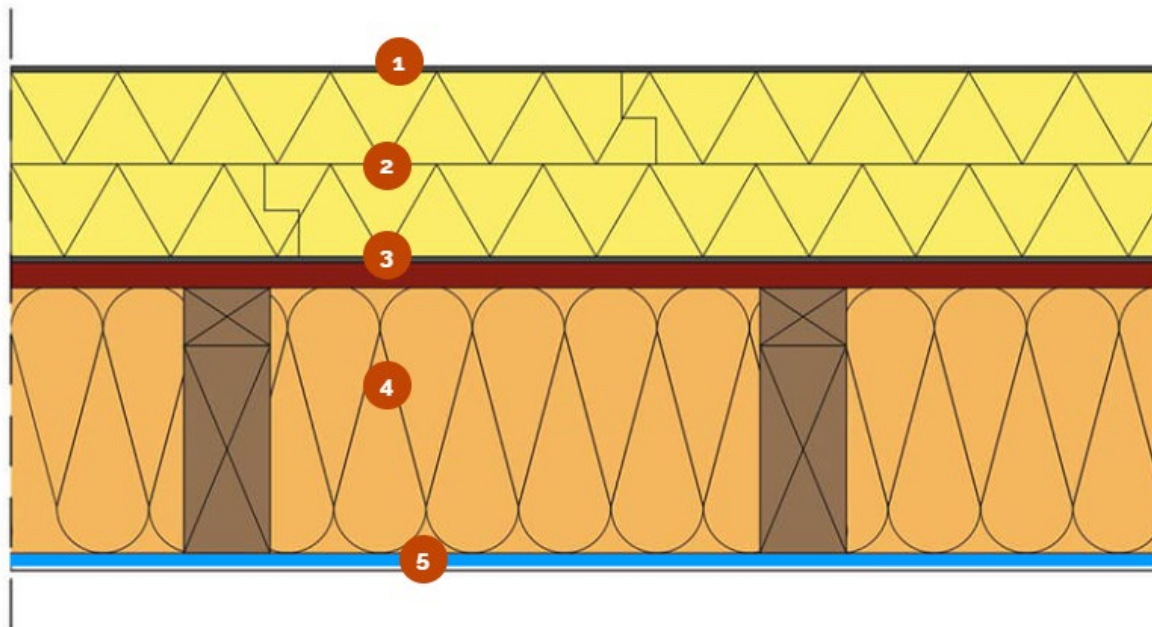
Point d'attention : toiture compacte + panneaux

► Alternative

- **Toiture mixte** = isolation au-dessus du plancher de toiture et une partie en dessous

► Condition pour éviter les problèmes de condensation interne

- L'isolation extérieure doit avoir une valeur R 1,5 fois supérieure à celle de l'isolation intérieure



- 1 Nouvelle étanchéité à la pluie
- 3 Étanchéité existante éventuelle
- 5 Freine-vapeur hygrovariable
- 2 Isolant rigide avec valeur $R_2 \geq 1,5$ fois valeur R_1
- 4 Isolant souple avec valeur R_1

Source : homegrade



Compatibilité avec toiture verte : Avantages

L'installation de panneaux solaires (photovoltaïques ou thermiques) sur une toiture verte n'est pas incompatible. Certains avantages peuvent même être retirés de cette combinaison :

- intégration du lestage des panneaux solaires avec le complexe de toiture verte ;
- amélioration du rendement des panneaux solaires (photovoltaïques) ;
- protection physique des membranes d'étanchéité et des circuits solaires ;

Compatibilité avec toiture verte : Points d'attention

- réaliser une implantation différenciée des plantes en fonction de la variation d'exposition (plantes adaptées à un ombrage quasi permanent sous les panneaux) et en fonction de la proximité des panneaux solaires (éviter que les plantes ne créent un ombrage sur les panneaux) ;
- Assurer une bonne évacuation des eaux pluviales, notamment à proximité des panneaux solaires : protection des avaloirs, gestion du ruissellement, garantir la facilité d'entretien des panneaux solaires, s'assurer du choix des matériaux (risques de corrosion, protection des conduits,...), etc.

Pour en savoir plus :

Fiche 4.2 : La compatibilité entre les panneaux solaires et la conception des toitures vertes



Compatibilité avec toiture verte : Points d'attention

- **De la végétation sur les panneaux** : les plantes ne peuvent pas faire d'ombrage sur les panneaux
 - > Choisir des plantes qui ne montent pas trop haut
 - > Entretenir régulièrement



Source : Cenergie





Compatibilité avec toiture verte : supports

- Existence de bases de support permettant l'intégration de panneaux au complexe de toiture verte, avec drainage et éventuellement stockage (toiture verte stockante)



Source : Zinco



Base en aluminium

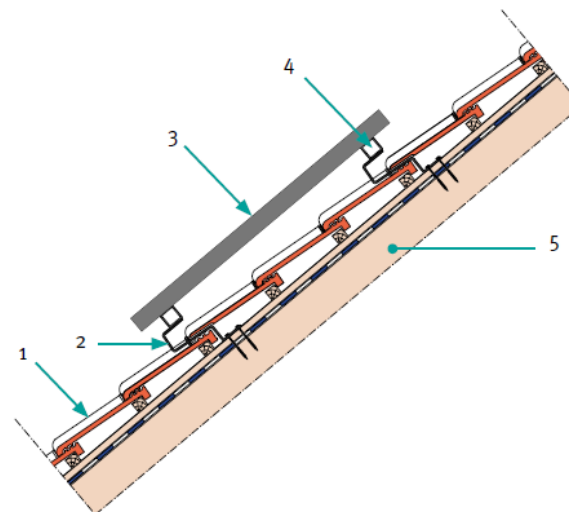


Base en bois local résistant bien à l'humidité : robinier pseudoacacia



Surimposition

- ▶ Fixations dépendent du type de couverture de toiture
- ▶ Espace d'air « suffisant » entre les panneaux et la couverture
- ▶ Système de fixation comprend la canalisation pour tous les câbles et accessoires
 - Normes IEC (Indice IP, RGIE...)
- ▶ Rails, crochets, visserie en inox



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

Fig. 2 Montage en surimposition.

Source : Buildwise, NIT 263



(Semi) intégration

- ▶ Remplace une partie de la couverture
- ▶ Attention à l'étanchéité à l'eau
- ▶ Attention à la ventilation des panneaux (surchauffe!)



Figure 10: Modules intégrés - APERe



Fig. 10 Capteurs solaires photovoltaïques en semi-intégration.

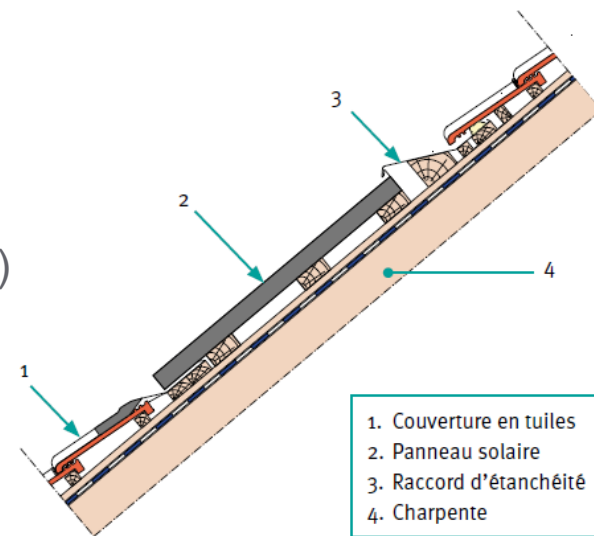


Fig. 5 Montage en intégration.

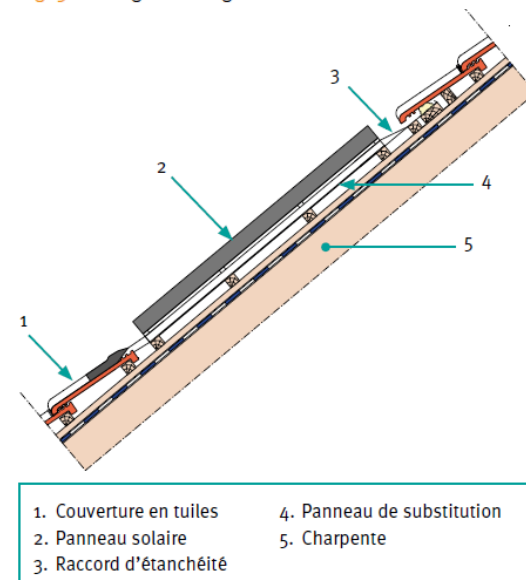
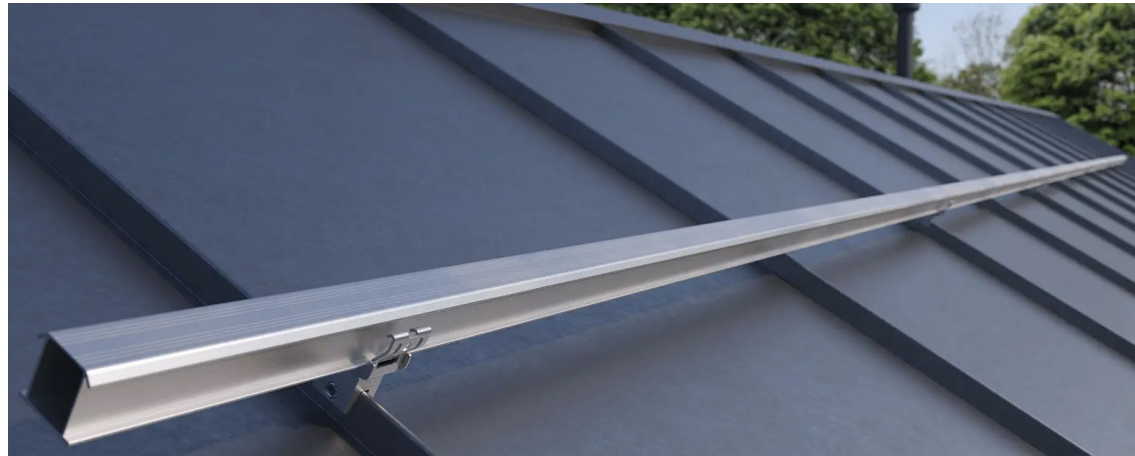
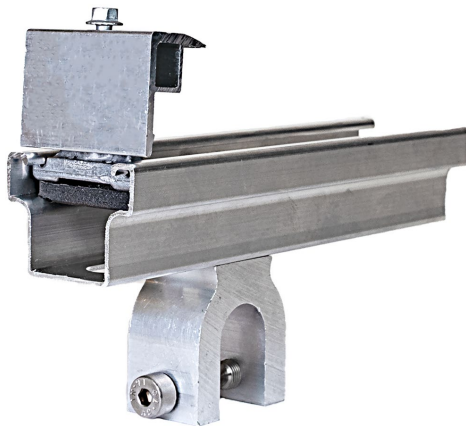


Fig. 9 Montage en semi-intégration.



Autres systèmes de fixation

- Couvertures à joints debout :

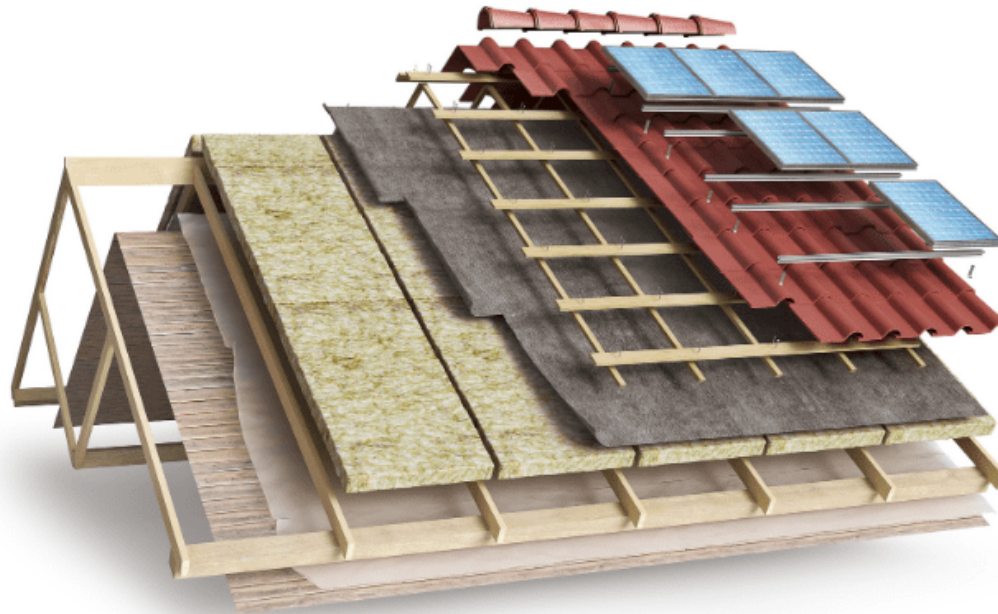


Source : Novotegra



Autres systèmes de fixation

- ▶ Toiture sarking
 - Fixation sur les lattages
 - Fixation à travers l'isolation jusqu'aux chevrons
 - Point d'attention sur les ponts thermiques



Source : wikipower



POTENTIEL

COMPOSANTS

IMPLANTATION

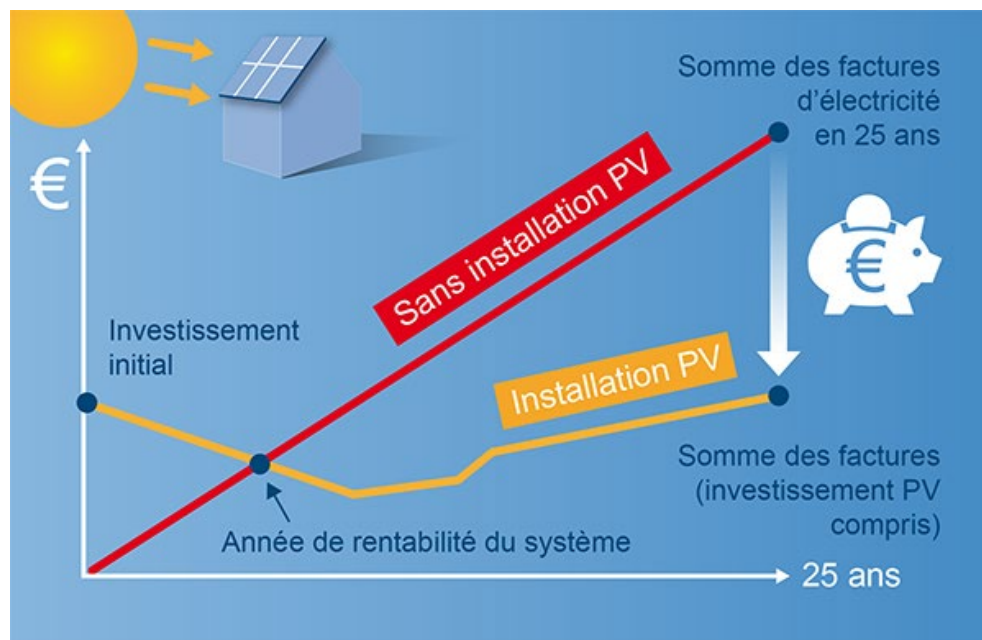
FINANCEMENT

DÉMARCHES ADMINISTRATIVES



Simulateur financier

- ▶ <http://sifpv-bxl.apere.org/Home/Step2>
- ▶ Calcul de la rentabilité financière d'une installation photovoltaïque
- ▶ Pour des installations pour particuliers, < 5 kWc



Source : Energie Commune (anc. APERe)



Certificats verts

- ▶ Producteurs obtiennent des CV pour leur production:
 - 1 CV / 217 kg de CO₂ économisé par la production d'électricité verte
 - Taux d'octroi (CV/MWh) dépend de:
 - Type de technologique
 - Puissance maximale théorique
 - Date de mise en service
 - CV reçus en fonction de la production = « bons à valoir » revendus ensuite au fournisseur d'électricité le plus offrant
 - Prix garanti par ELIA : 65 €
 - Quantité de CV/MWh fixe sur toute la durée d'éligibilité (10 ans)

Taux d'octroi à partir de février 2024

Catégorie de puissance [kWc]	≤ 5	5 -36	36-100	100-250	> 250
Taux d'octroi [CV/MWh]	2,055	1,953	1,016	0,642	0,580



Prêt vert bruxellois

- ▶ Financement de 0 à 2% pour les travaux d'amélioration énergétique (habitation)
- ▶ Jusqu'à 25.000 €
- ▶ Conditions : voir primes énergies
- ▶ Cumulable avec les primes

⇒ **Plus d'infos :**

<https://environnement.brussels/thematiques/batiment-et-energie/primes-et-incitants/pre-vert-bruxellois>

Aides fédérales

- ▶ Déductions fiscales
- ▶ Pour les entreprises / professions libérales
- ▶ % de l'investissement

⇒ **Plus d'infos :**

https://environnement.brussels/thematiques/batiment-et-energie/primes-et-incitants/investissements-economiseurs-denergie?view_pro=1&view_school=1



POTENTIEL

COMPOSANTS

IMPLANTATION

FINANCEMENT

DÉMARCHES ADMINISTRATIVES



Avant les travaux :

Permis d'urbanisme

- ▶ Selon les règlements communaux
- ▶ Exceptions probables :
 - Installation non visible depuis la voie publique
 - Installation intégrée dans la surface du toit ou montée en parallèle

Eventuel renforcement de compteur et démarches auprès du Gestionnaire du Réseau de Distribution (Sibelga)

Demande de travaux et étude de réseau pour installation > 5 kVA

- ▶ Voir [guides pratiques](#) Sibelga selon puissance de l'installation PV

Pour les travaux : Sélectionner un installateur agréé

- ▶ Voir https://rescert.be/fr/list?res_category=2

Après les travaux : Raccordement électrique

- ▶ Conformité installation électrique (RGIE)
- ▶ Installation compteur bidirectionnel (Sibelga)
- ▶ Certification du compteur d'énergie par BRUGEL (obtention CV)
- ▶ Encodage des index verts sur **Green meter**





- ▶ Evaluation du potentiel d'une installation PV
- ▶ Importance de l'implantation et solutions techniques possibles.
- ▶ Aides et primes existantes ainsi que les démarches administratives à réaliser.
- ▶ Différents équipements d'une installation PV et les points d'attention qui y sont liés.





Guide bâtiment durable

www.guidebatimentdurable.brussels

- ▶ Thème Energie | [Electricité verte](#)
- ▶ Dossier | [Produire de l'électricité verte : photovoltaïque et autre](#)
- ▶ Solution | [Installations photovoltaïques en toitures plates et inclinées](#)



Sites internet

- ▶ [Bruxelles Environnement | Le Facilitateur Bâtiment Durable](#)
- ▶ [Bruxelles Environnement | Panneaux solaires photovoltaïques](#)
- ▶ [Bruxelles Environnement | Installateurs certifiés](#)
- ▶ [Sibelga | Energie renouvelable](#) (CV, exigences techn., SolarClick, etc.)
- ▶ [Carte solaire de la Région de Bruxelles-Capitale](#)
- ▶ [Brugel | Mécanisme des certificats verts](#)
- ▶ Energie +
[Prédimensionner l'installation \[photovoltaïque\]](#)
[Onduleurs](#)
[Choisir l'emplacement des capteurs \[photovoltaïque\]](#)



Ouvrages

- ▶ [Buildwise, NIT263 – Montage des capteurs solaires sur les toitures à versants](#)



Robin BAAR

Ingénieur projet
écorce sa

☎ + 32 4 226 91 60

✉ info@ecorce.be



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

