

FORMATION BÂTIMENT DURABLE

ENERGIES RENOUVELABLES

PRINTEMPS 2023

Focus sur le photovoltaïque

Cadre réglementaire, technologies, intégration et gestion



bruxelles
environnement
leefmilieu
brussel
.brussels

David PLUNUS
écorce
INGÉNIERIE & CONSULTANCE



- ▶ 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.



CONCEPTION

FINANCEMENT

DÉMARCHES ADMINISTRATIVES

EXÉCUTION

DIVERS



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?

- ▶ Rénovation:
 - Récupération courbe de charge si disponible via compteur existant
 - Profil reconstitué via factures + profils types
 - Besoins évalués via simulation thermique dynamique

- ▶ Bâtiment neuf:
 - Profil estimé sur base de profils types
 - Besoins évalués via simulation thermique dynamique



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 ÉNERGETIQUE DE LA RÉGION 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**

Estimer les besoins électriques: combien et quand?

- ▶ Bâtiment non résidentiel, consommations électriques pour:
 - Chauffage / refroidissement
 - Ventilation
 - $\approx 0,45 \text{ W/m}^3/\text{h}$
 - Eclairage
 - $\approx 1,5 \text{ à } 2 \text{ W/m}^2 \cdot 100 \text{ lux}$ pour les bureaux, écoles, ateliers,...
 - Bureautique, serveur
 - Equipements de cuisine
 - Ascenseurs
 - Petits équipements
 - Etc.

**Grande importance des
horaires d'utilisation**



Estimer les besoins électriques

Etude sur les consommations
énergétiques spécifiques du secteur
tertiaire

Rapport Final

Mai 2021

Tableau 71 : CSP retenues - Centres de santé et services similaires

	Moyenne	Intervalle de confiance
CSP Gaz (kWh/m ²)	116	89-143
CSP Electricité (kWh/m ²)	83	17-149

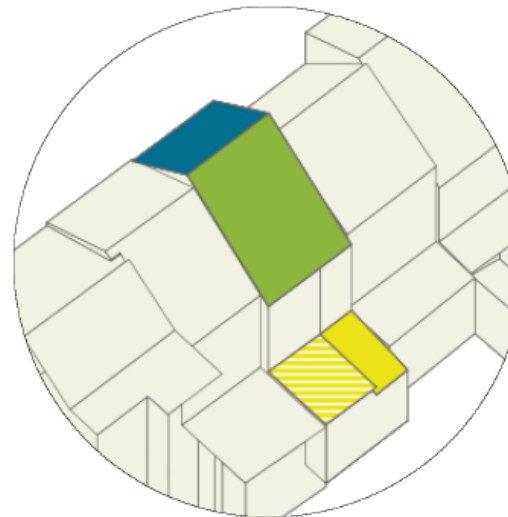
Pour le compte de :



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

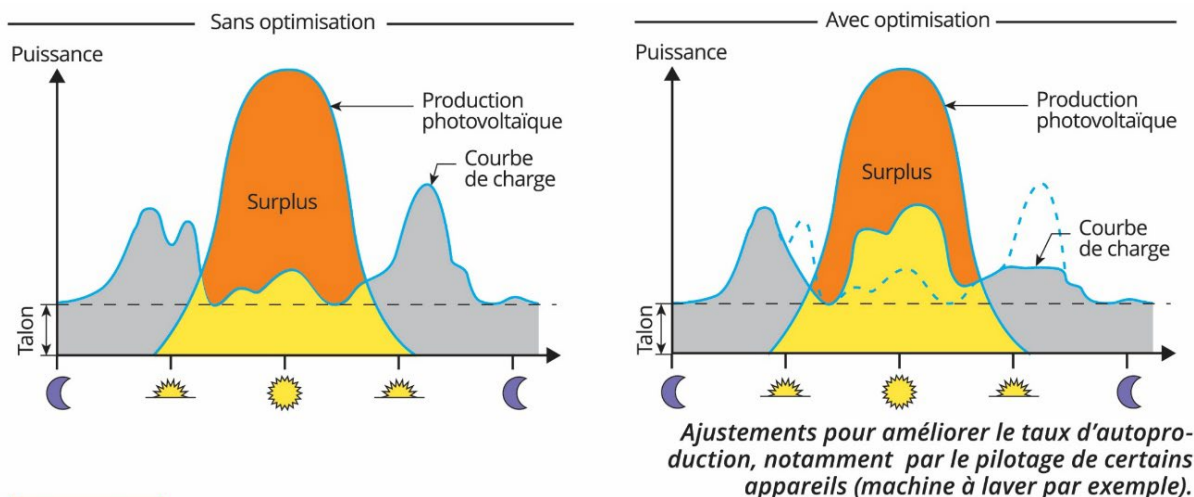
Mes finances

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

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

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



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

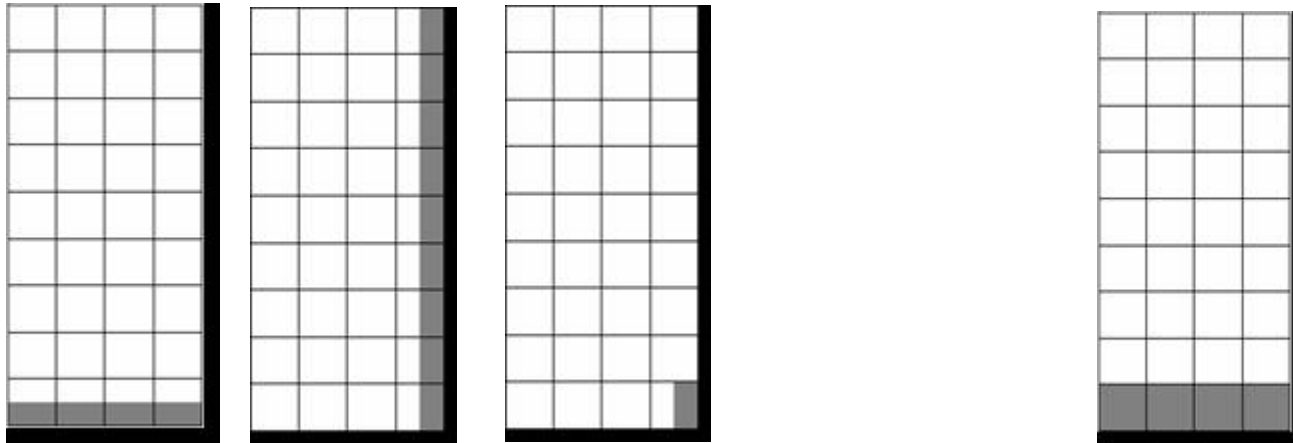
- ▶ Sources continues: Eléments de bâtiment en saillie, bâtiments voisins, cheminées, végétation, acrotères, gaines de ventilation, équipements techniques en toiture, garde-corps, poteaux électriques...
- ▶ Sources occasionnelles (entretien/conditions climatiques): salissures, feuilles mortes, neige, 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.

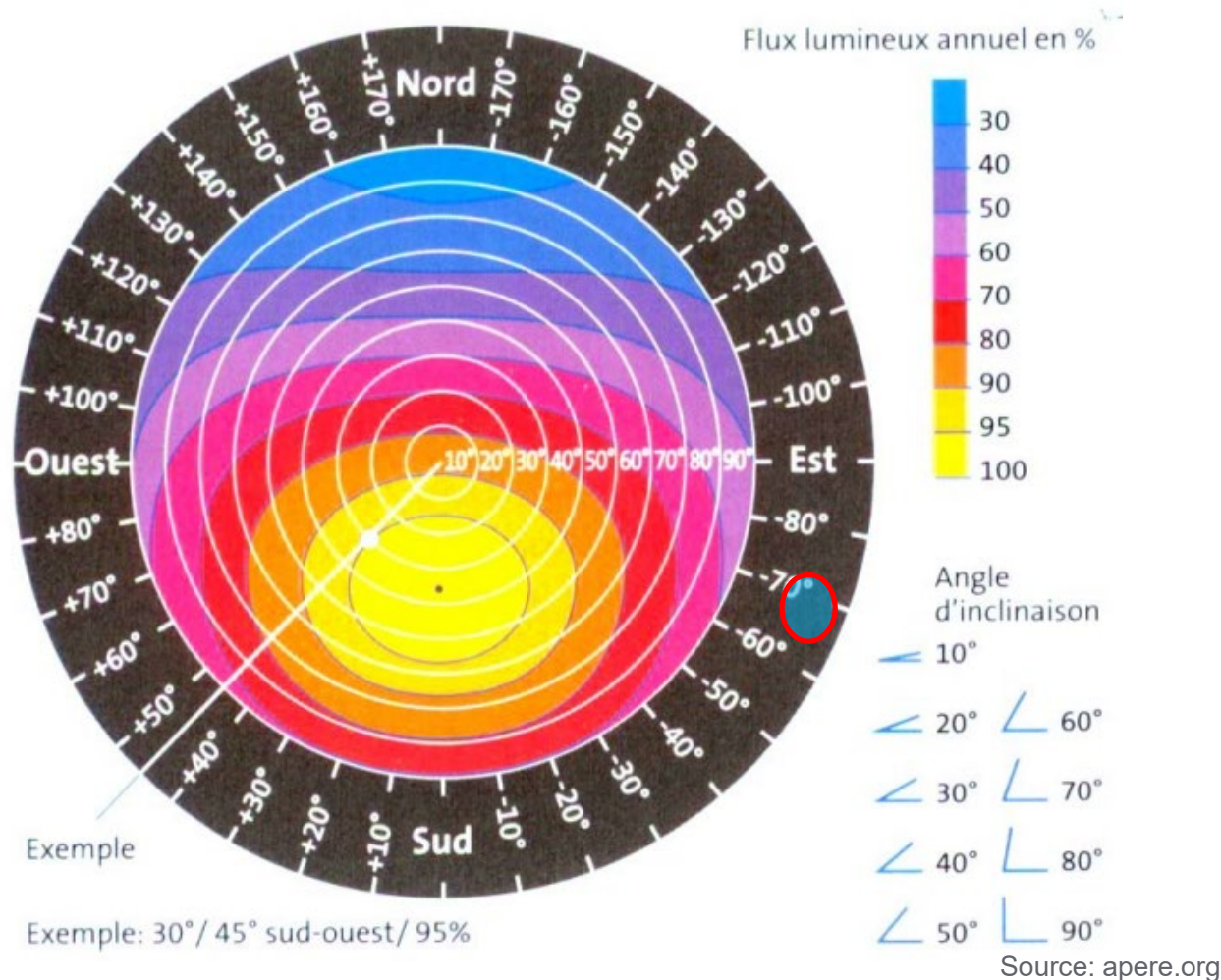
Exemple d'ombrage total d'une rangée de cellules qui **peut réduire la puissance du module à... 0 !**

Source: Energie Facteur 4



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

- Optimum: Sud et 35°



Quelle est la surface disponible ?

- ▶ En toiture
 - Déduire l'encombrement des autres équipements : Centrale de Traitement d'Air (CTA), cheminée, ascenseur, exutoire de fumée (encombrement ouvert), ...
 - Déduire les zones ombragées par le bâtiment et les équipements : acrotères, CTA , 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 : $\sim 15 \text{ kg/m}^2$
 - Surcharge due au lestage : $\sim 100 \text{ kg/m}^2$ min. (à adapter selon prise au vent)
 - [Outil de calcul CSTC - Ancrages des capteurs photovoltaïques](#)



Orientation «optimale »

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

Orientation Est-Ouest

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



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

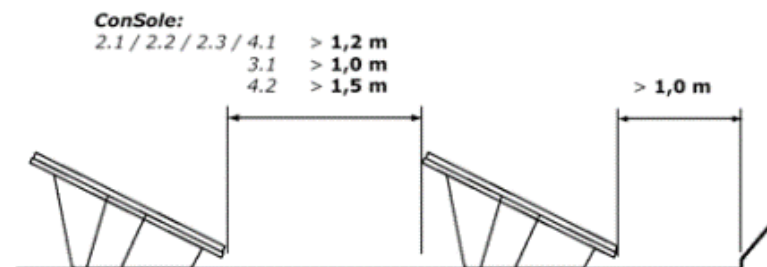


Source: <http://mm.stedebouwarchitectuur.nl>



Toiture plate

- 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 : $> 40 \text{ kg / m}^2$
- + Mise en œuvre très simple
- Peu de flexibilité (inclinaison, nombre de modules ...)



Toiture plate

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

+ Peu coûteux



Source: Projet D'ieteren



Toiture plate

- ▶ 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



Compatibilité avec une toiture verte

► Surcharge

- Le complexe de toiture verte peut participer au lestage des panneaux !

Toiture verte extensive < 10 cm : 30 à 100 kg/m²

► Surchauffe

- Les toitures vertes, le substrat, les plantations et leur évapo-transpiration participent au rafraîchissement de l'environnement direct des panneaux et améliorent leur rendement !

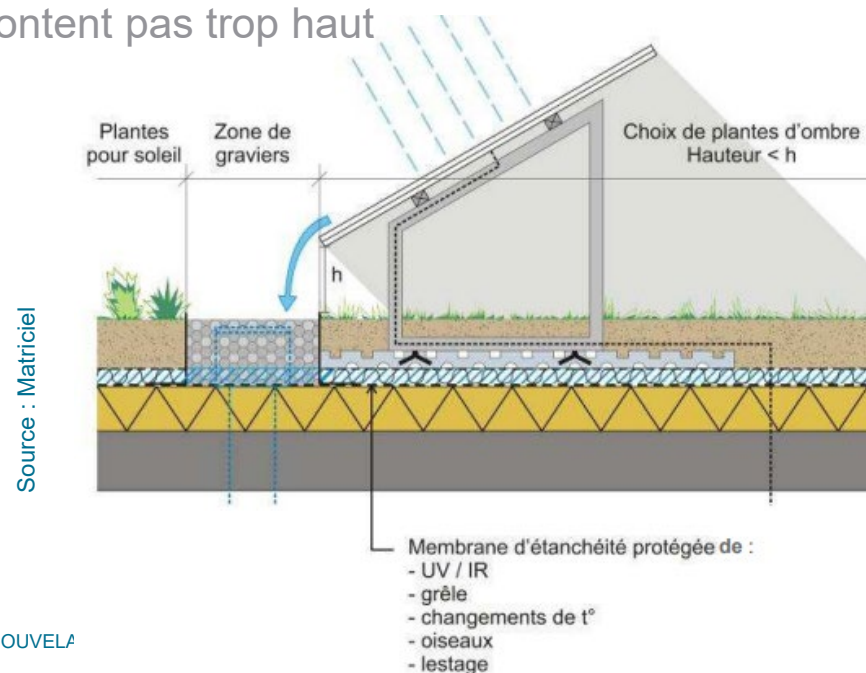
► Pérennité de la toiture

- Le complexe de toiture verte protège l'étanchéité et les circuits (électriques et thermiques) du rayonnement solaire
- Les éléments techniques doivent être appropriés à un milieu humide
 - > Prévoir un capotage étanche, soigner les raccords ...



Compatibilité avec toiture verte

- ▶ Ombrage
 - Des **panneaux sur la végétation** : tous les types de plantes n'apprécieront pas ces conditions d'ombrage en permanence
 - > Différencier le type de plantes selon l'exposition au vent et au soleil
 - > Choisir des plantes d'ombre ou de mi-ombre sous les panneaux
 - 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



Compatibilité avec toiture verte

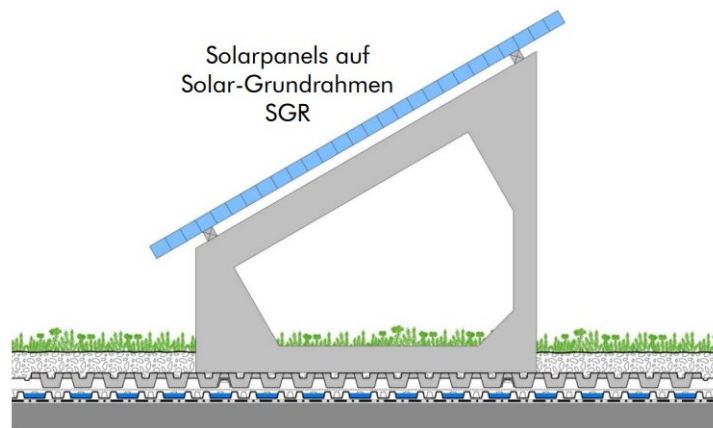
- Support
 - Existence de bases de support permettant l'intégration de panneaux au complexe de toiture verte, avec drainage et éventuellement stockage (toiture verte stockante)



Base en aluminium



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



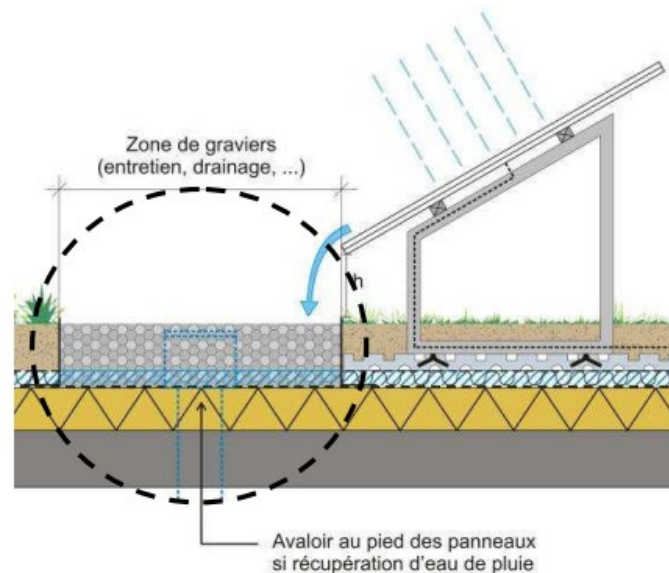
Source : Zinco



Compatibilité avec toiture verte

► Récupération eaux de pluie

- *Les toitures vertes sont intéressantes pour la collecte des pluies courantes, le stockage et l'évapo-transpiration de l'eau de pluie et son évacuation différée. Les panneaux solaires implantés seuls sur une toiture sont défavorables à la gestion de l'eau de ruissellement : ils accentuent le ruissellement sur la toiture et vers la toiture verte. On peut considérer que la combinaison entre les toitures vertes et les panneaux solaires est intéressante pour la gestion des pluies courantes. Mais il faut pour cela veiller à soigner la conception des raccords entre les deux techniques.*



Exemple de détail en pied de panneaux permettant de faciliter la récolte de l'eau de pluie tout en limitant l'impact du ruissellement sur la toiture verte (érosion localisée du substrat)

Source : Matriciel



Compatibilité avec toiture verte

► Entretien

- Des aménagements permettront la circulation des personnes pour effectuer l'entretien des installations solaires sans endommager les plantations et le complexe de toiture verte : zones en gravier, dalles béton sur plots, caillebotis bois sur plots...
- Les zones de graviers représentent aussi des zones qui limitent la propagation des plantes vers les installations solaires. Elles permettent d'avoir accès aux avaloirs et d'éviter leur colmatage par la végétation ou le substrat.
- **Attention** : En prenant en compte la surface de panneaux solaires, les zones de gravier disposées en pourtour de toiture, au niveau des avaloirs et pour permettre l'accès aux installations solaires, la zone dédiée à la toiture verte peut être fortement réduite.



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.



Compatibilité avec toiture verte : Conclusion

- *En fonction de la surface de toiture disponible, des besoins de récupération d'eau de pluie, du site d'implantation du bâtiment, la pertinence de la combinaison d'une toiture verte et d'une installation solaire (thermique ou photovoltaïque) devra être évaluée. Lors de la combinaison des deux techniques, la conception devra être soignée pour limiter les risques identifiés.*

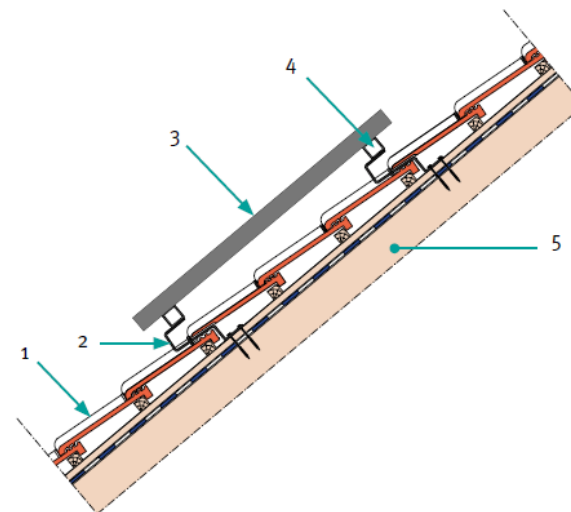
⇒ **Pour en savoir plus :**

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



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 : CSTC, 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.

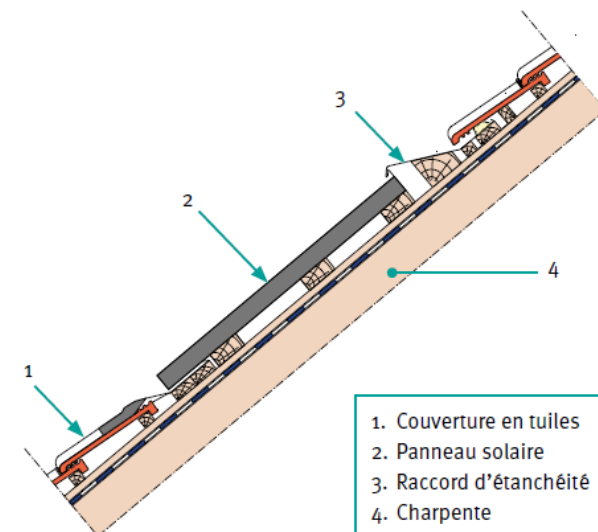


Fig. 5 Montage en intégration.

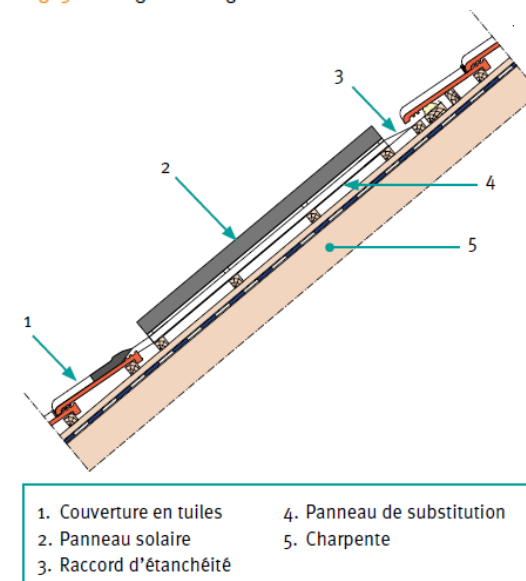


Fig. 9 Montage en semi-intégration.



Définition :

Installations photovoltaïques qui se substituent aux éléments de construction traditionnels des maisons et des immeubles.

⇒ **Rempli une fonction constructive**

- Peut se retrouver sous la forme de: Vitrage, Mur rideau / Double peau / Couverture de toiture / Bardage / Protections solaires / Garde-corps / Etc.

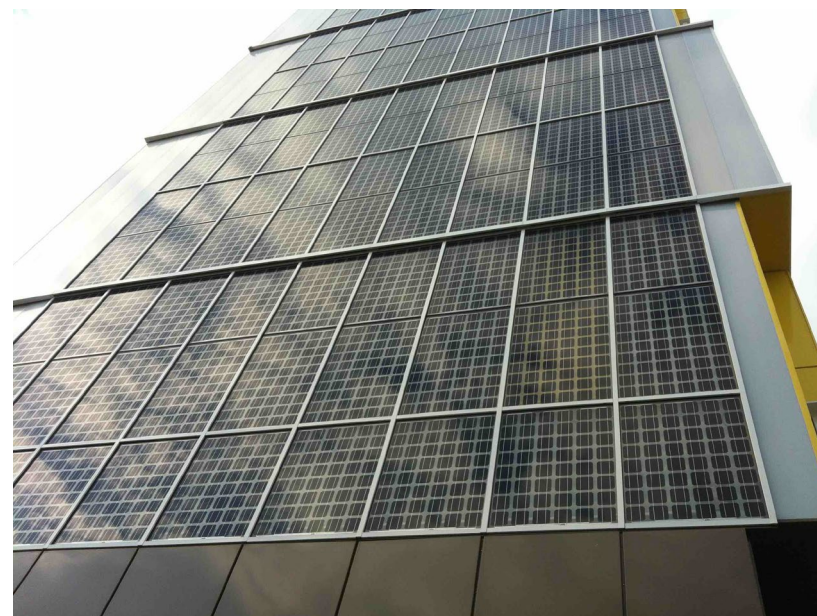
+ Intégration architecturale et esthétique
Remplit plusieurs fonctions constructives
Variété des dispositifs (formes, fonctions, couleurs...)

- Coût élevé (jusqu'à 6 €/Wc)
Rendement plus faible (jusqu'à 80 Wc/m²)
Travaux d'installation et maintenance complexes



Vitrage photovoltaïque

- ▶ Simple/double/tripe vitrage
- ▶ Feuilletages
- ▶ Densité PV



PROJET #1 : TREURENBERG – PARC ROYAL BXL

- ▶ Surface : 1200 m²
- ▶ Puissance totale: 207 kWc
- ▶ Puissance / m² : **172,5 Wc/m²**



Projet Treurenberg Bxl – Axa – Assar Architects



PROJET #1 : TREURENBERG – PARC ROYAL BXL

Projet Treurenberg Bxl – Axa – Assar Architects



PROJET #2 : GREENBIZZ – TIVOLI

Projet Greenbizz – Architectes Associés



PROJET #2 : GREENBIZZ – TIVOLI

Projet Greenbizz – Architectes Associés



PROJET #3 : ELIA – CANAL

- ▶ Surface : 4250 m²
- ▶ Puissance totale : 434 kWc
- ▶ Puissance/m²: **102,1 Wc/m²**



Projet Elia – Architectes Associés



PROJET #3 : ELIA – CANAL



Projet Elia – Architectes Associés



PROJET #4 : EUROPA – CONSEIL EUROPEEN



Projet Europa – Samyn & Partners Architects



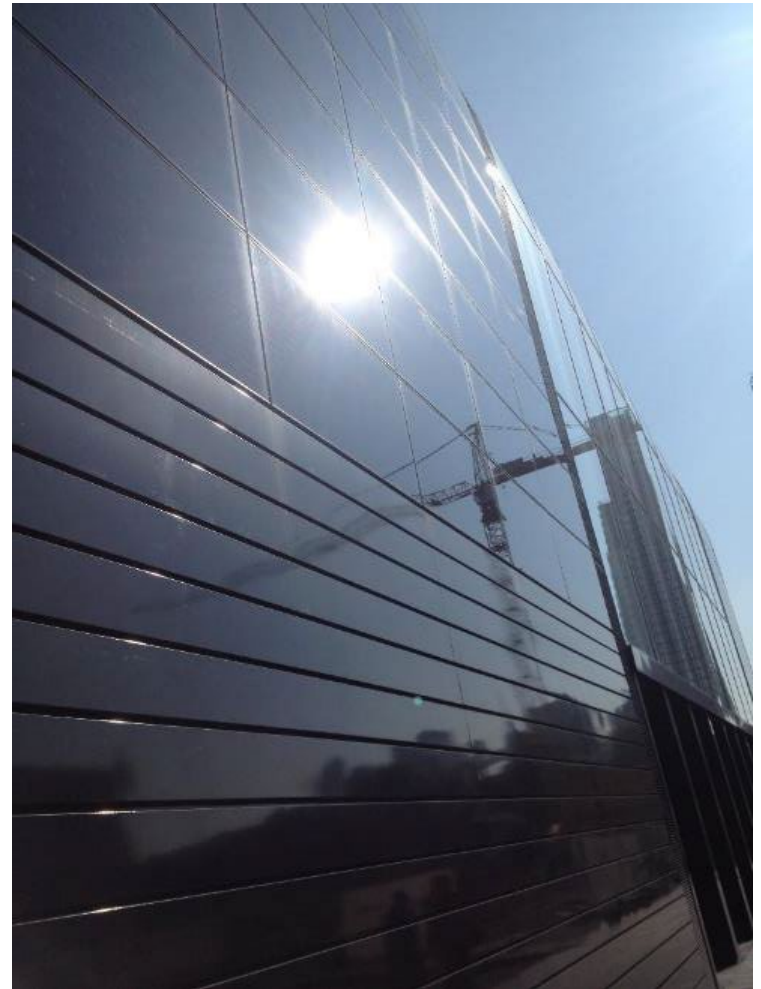
PROJET #5 : SIÈGE DE BRUXELLES ENVIRONNEMENT

- ▶ Surface : 700 m²
- ▶ Puissance totale : 104 kWc
- ▶ Puissance/m² : **148,5 Wc/m²**



Projet IBGE – CEPEZED Architects



PROJET #5 : SIEGE DE BRUXELLES ENVIRONNEMENT

Projet IBGE – CEPEZED Architects



41 BUILDING INTEGRATED PHOTOVOLTAICS - BIPV

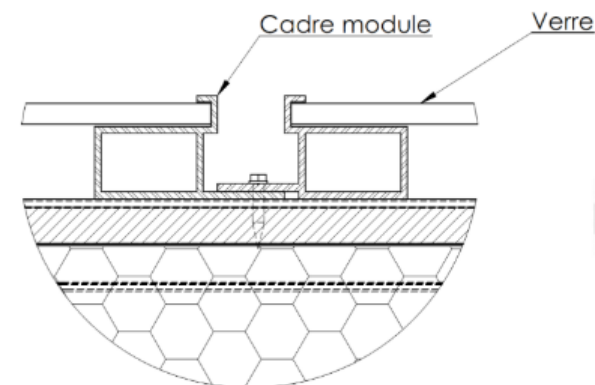
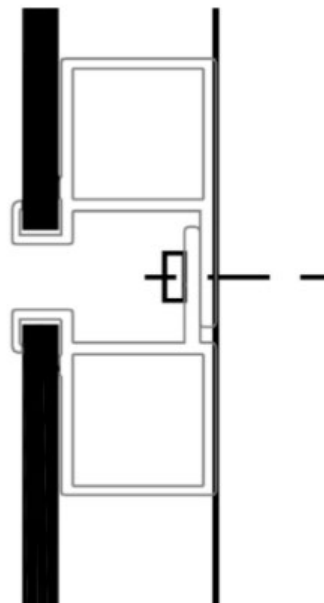
PROJET #5 : SIEGE DE BRUXELLES ENVIRONNEMENT

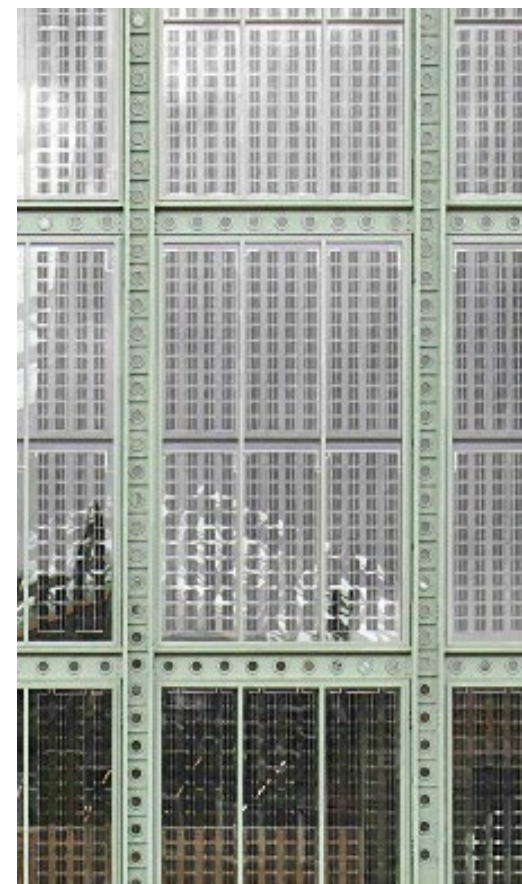
Système de fixation sans attache visible pour façade ou bac acier

Particularités :

- Installation sur une charpente métallique (type profilé oméga) ou sur bac acier
- Fixation par vis autoforantes – pas de fixation visible
- Cadre conçu sur mesure, extrudé chez Hydro Aluminium
- Module cadré sur deux côtés

Projet de référence : IBGE



PROJET #6 : Gare maritime

Projet Gare Maritime – Neutelings Riedijk Architects



CONCEPTION

FINANCEMENT

- ▶ **Certificats verts**
- ▶ **Primes énergie**
- ▶ **Prêt vert**
- ▶ **Déductions fiscales**
- ▶ **Solarclick**

DÉMARCHES ADMINISTRATIVES

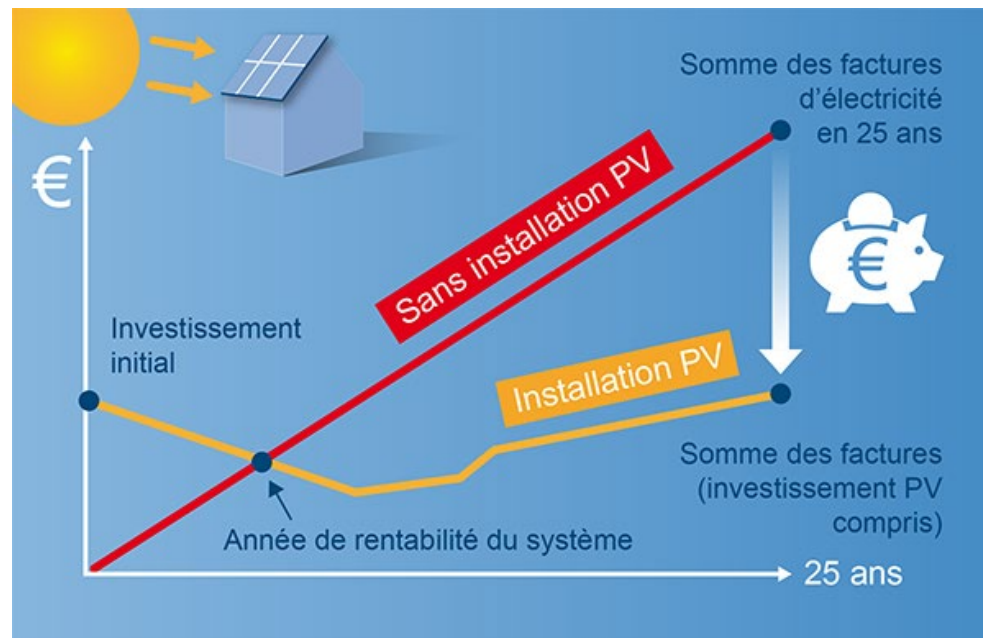
EXÉCUTION

DIVERS



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)

+ Coefficients multiplicateurs et taux d'octroi à partir de janvier 2022 

Catégorie de puissance [kWc]	≤ 5	]5-36]	]36-100]	]100-250]	> 250
Taux d'octroi [CV/MWh]	2,7	2,5	2,1	1,8	1,5

Voir l'arrêté ministériel du [14/10/2021](#)

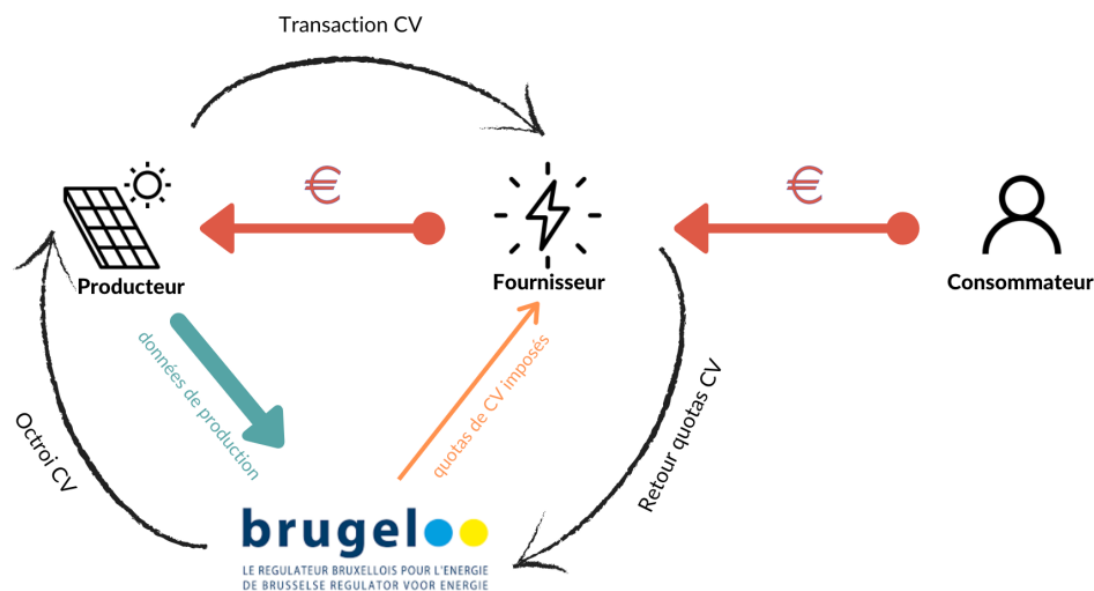


Certificats verts

- Fournisseurs doivent déclarer annuellement un nombre de CV
 - Si les fournisseurs n'atteignent pas leur quota > amende 100€/CV

⇒ **Les fournisseurs rachètent aux producteurs les CV**

- Marché régulé par BRUGEL



Quota	%
2013	3,5
2014	3,8
2015	4,5
2016	8,2
2017	7,8
2018	8,5
2019	9,2
2020	10,0
2021	10,8
2022	14,7
2023	17,2
2024	18,8
2025	20,1



Prêt vert bruxellois

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

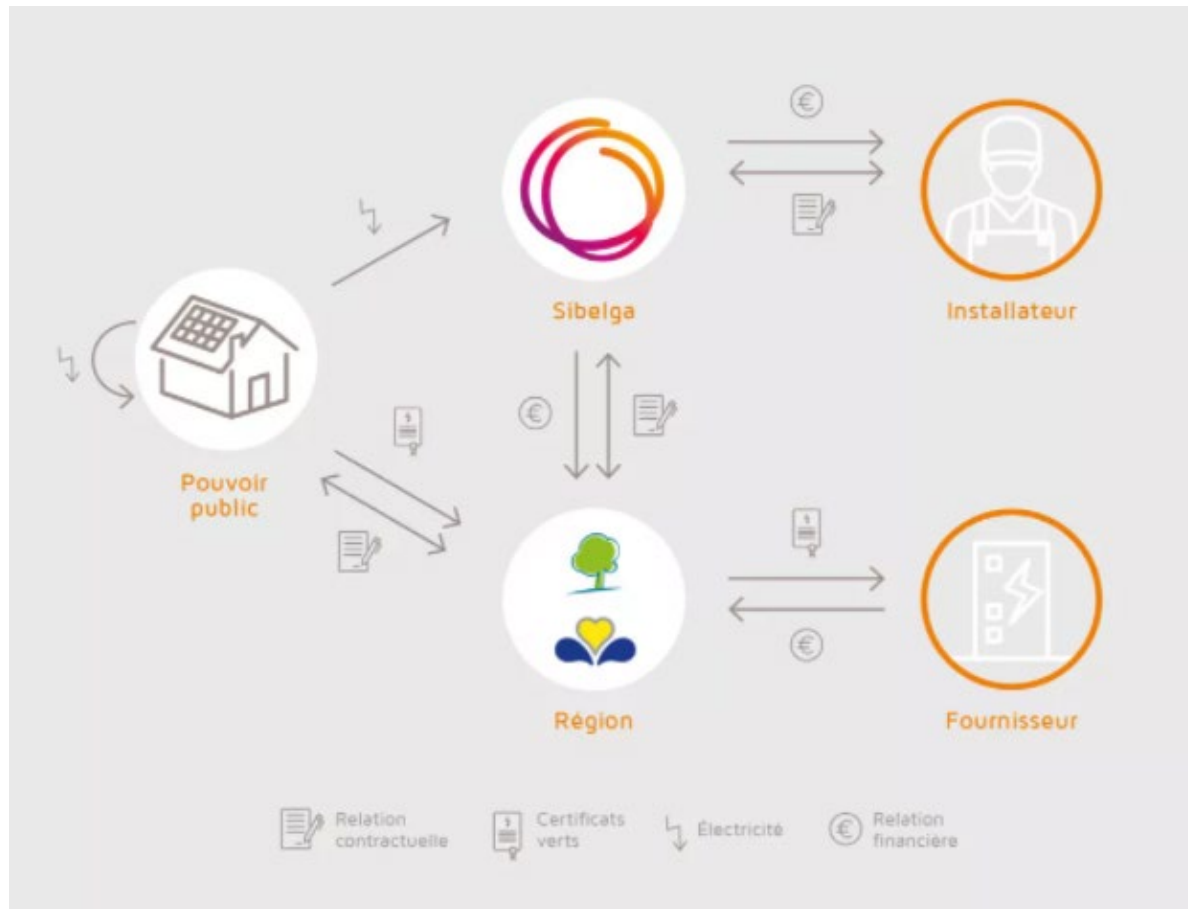
⇒ **Plus d'infos :**

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



Solarclick

- Destiné aux pouvoirs publics



<https://solarclick.be/>



CONCEPTION

FINANCEMENT

DÉMARCHES ADMINISTRATIVES

EXÉCUTION

DIVERS



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**



CONCEPTION

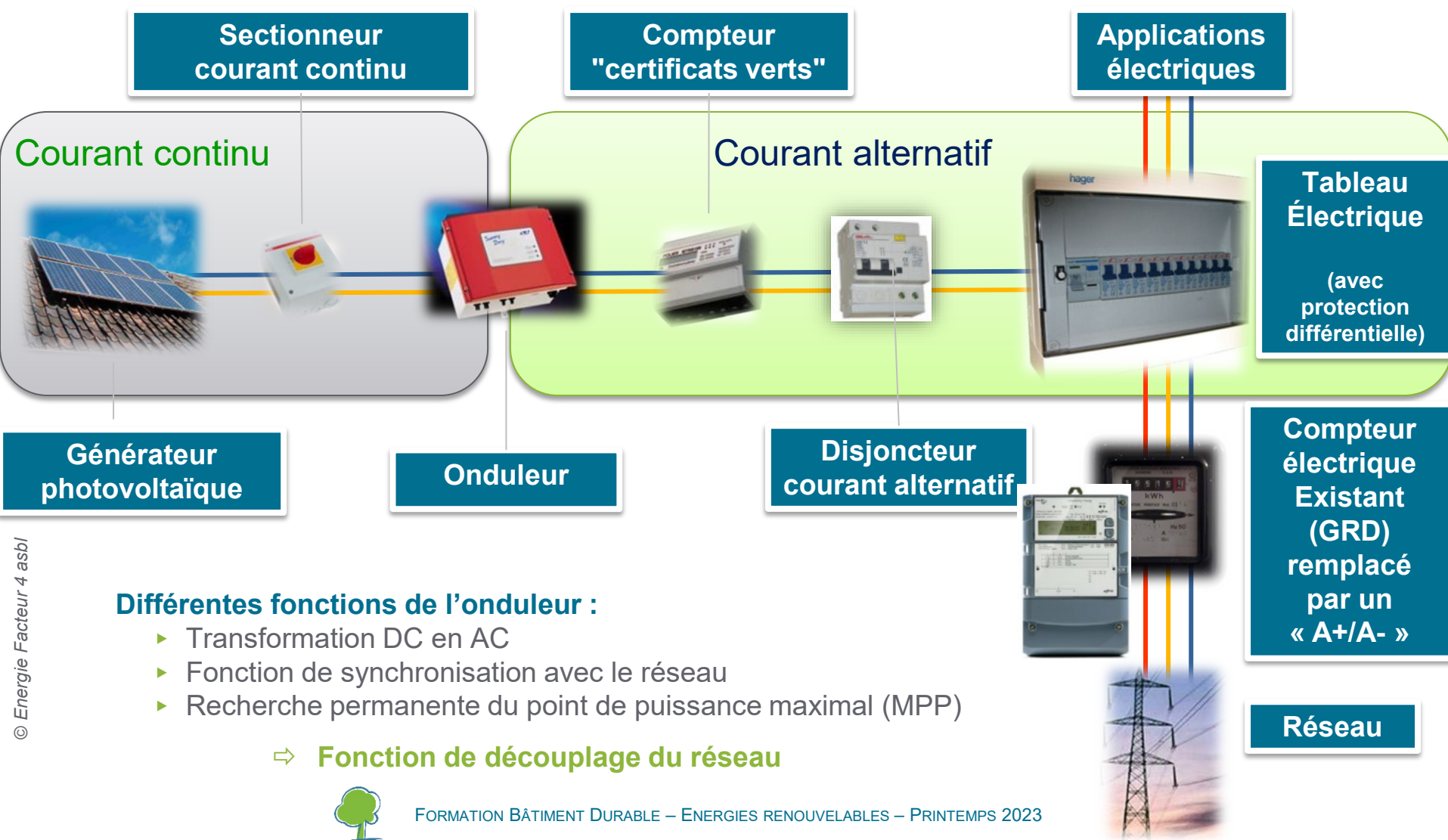
FINANCEMENT

DÉMARCHES ADMINISTRATIVES

EXÉCUTION

DIVERS





	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	☹️	☹️	😊	😊
TRE¹	3,5 ans	3,5 ans	2,5 ans	2,5 ans
Prix €/Wc	1,3 – 1,9	1,1 – 1,5	?	?



Source: Homegrade, 2020



Strings (chaîne de panneaux)

- ▶ 1 string = 1 circuit en série, fonction de :
 - La puissance recherchée

Correspondance avec la puissance de l'onduleur

- L'orientation des panneaux
 - L'ombrage des panneaux
- ▶ En cas d'optimisation:
grouper les panneaux en fonction de leurs performances



Strings (chaîne de panneaux)



- ▶ Transformation AC → DC
- ▶ Synchronisation à la fréquence du réseau (50 Hz)
- ▶ Optimisation de la production par MPPT
 - MPPT = Maximum Power Point Tracking
 - Compense les variations de production

Angle et orientation du soleil

Ombrages: structures (cheminées,...) et météo (nuages,...)

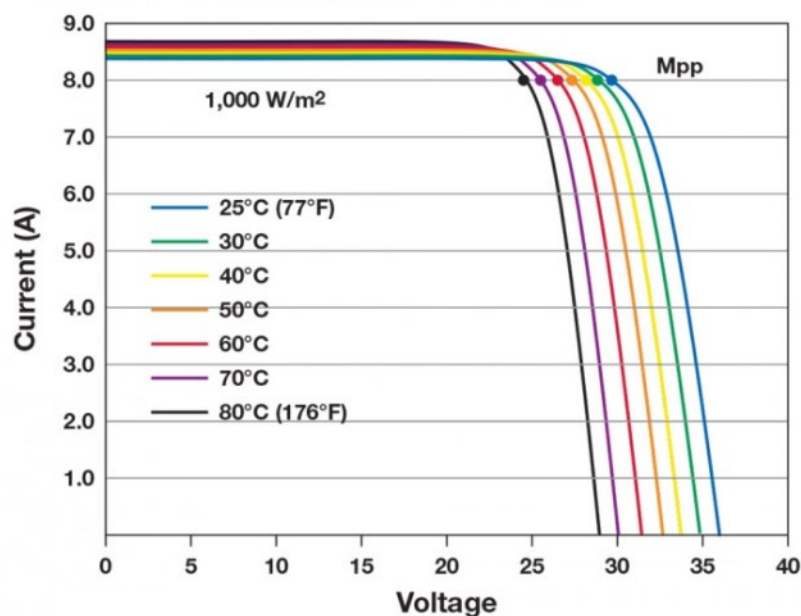
- 1, 2 ou 3 MMPT → autant de strings par onduleur



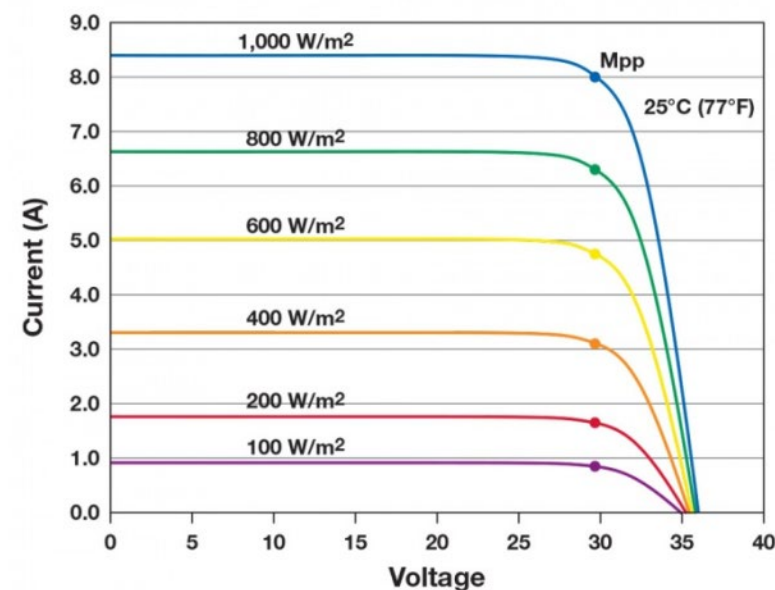
MPPT (Point de puissance maximale), varie en fonction de:

- L'ensoleillement
- La température

Effect of Cell Temperature on MPP



Insolation Effects on Maximum Power Point



- Par modification de la résistance (charge) appliquée dans l'onduleur

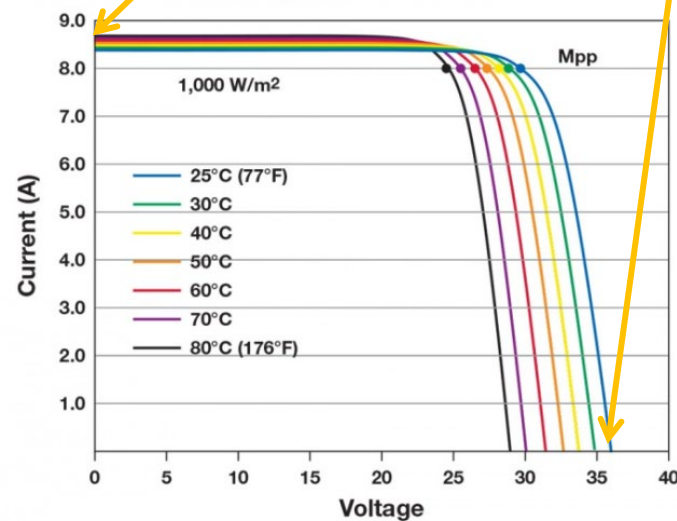


MPPT – Fiche technique module

Thermal Specifications:

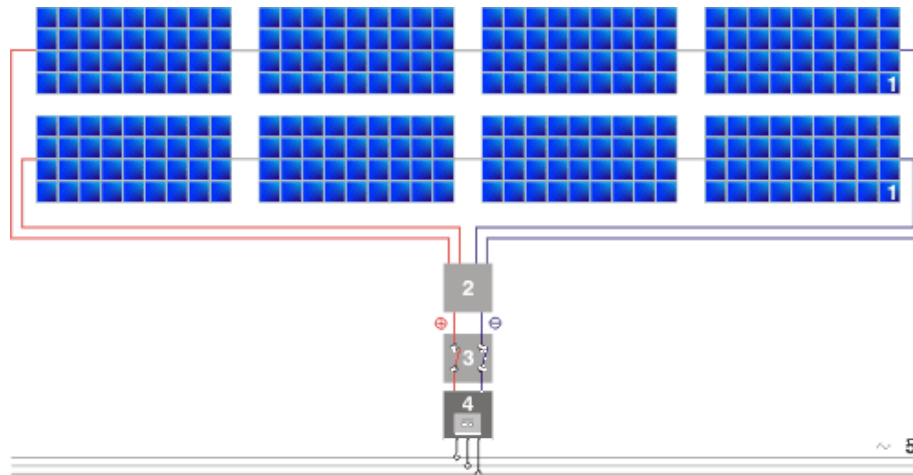
Current Temperature Coefficient	α	+ 0.046 %/K
Voltage Temperature Coefficient	β	- 0.30 %/K
Power Temperature Coefficient	γ	- 0.39 %/K
NOCT		44 °C
Temperature range		- 40 °C to + 85 °C

Effect of Cell Temperature on MPP



Onduleur central

- Un onduleur pour l'ensemble de l'installation



1. Champ de capteur (ou générateur).
2. Boitier de raccordement.
3. Onduleur.
4. Compteur.
5. Réseau.

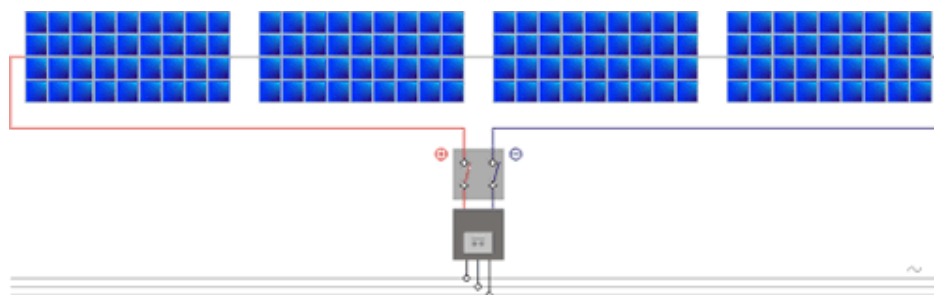
Source: Energie+

- + Solution la moins couteuse
Peu de maintenance
Simplicité et rapidité de montage
- Production impactée par un string/panneau défavorisé → Pas adapté pour installation hétérogène (ombrage, orientation, inclinaison...)



Onduleur string

- Un onduleur par string (rangée de modules en série)

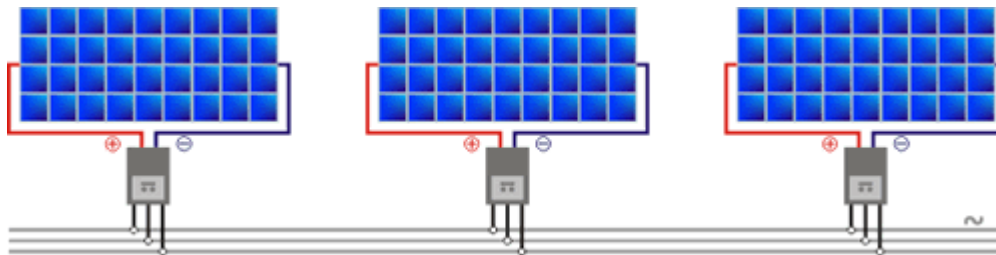


- + Recherche du point de puissance maximale (MPP) pour chaque string. Meilleur rendement qu'un onduleur centralisé dans le cas d'installation hétérogène.
- Production impactée par un panneau défavorisé (mais limité au string concerné uniquement)
→ Permet plus de flexibilité au niveau de l'installation que l'onduleur centralisé.
Cout plus élevé qu'avec onduleur centralisé.



Micro-onduleurs

- Un onduleur par module



Source: Energie+



Source: Enphase

- + Simplicité et rapidité de montage.
Pas de câblage en courant continu.
Chaque module est indépendant → très grande flexibilité dans l'implantation de l'installation.
- Coût
Maintenance



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 installées 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** doit être respectée.

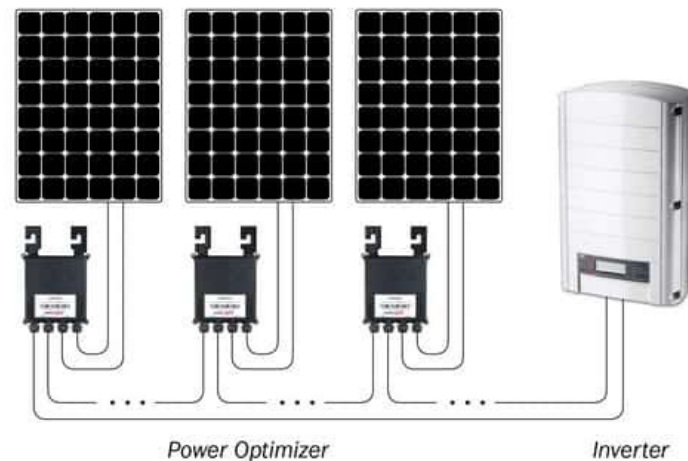


MONTAGE DE L'ONDULEUR - Prescriptions générales

- ▶ 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 déconseillé à cause du **léger bruit** qui peut s'en dégager lorsqu'il est actif.



- ▶ 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



Câblage

- ▶ Haute résistance aux UV, à l'humidité, aux intempéries et à la corrosion et à double isolation en matériau retardateur de flammes.
- ▶ Section de câble en fonction de la distance panneaux ↔ onduleur pour limiter les pertes
- ▶ Limiter la distance entre panneaux et onduleur

Raccordement au TGBT

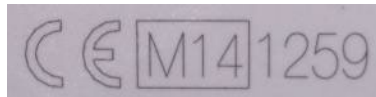
- ▶ Limiter la distance entre l'onduleur et le tableau
- ▶ Disjoncteur spécifique pour l'installation PV

Relais de découplage

- ▶ Obligatoire pour les installations de plus de 30 kVA
- ▶ Permet de découpler automatiquement l'installation du réseau en cas de perturbations et ainsi de protéger l'installation et le réseau de distribution.

Compteur CV

- ▶ Compteur agréé (CWAPE, VREG, Brugel), placé par un installateur agréé
- ▶ Mesure la production totale d'électricité de l'installation d'autoproduction
- ▶ Marquage MID



Points d'attention

- ▶ Les panneaux ne doivent pas:
 - réduire les caractéristiques REI, ainsi que la classe de comportement au feu exigées pour la paroi sur laquelle ils s'implantent.
 - gêner l'ouverture des dispositifs d'EFC (coupoles, exutoires...)
 - entraver les passages pour intervention et évacuation de secours (p. ex. vers fenêtres de toit)



Source: SPF Intérieur

- ▶ Coupure de la production en cas d'incendie (bouton d'arrêt d'urgence)



CONCEPTION

FINANCEMENT

DÉMARCHES ADMINISTRATIVES

EXÉCUTION

DIVERS



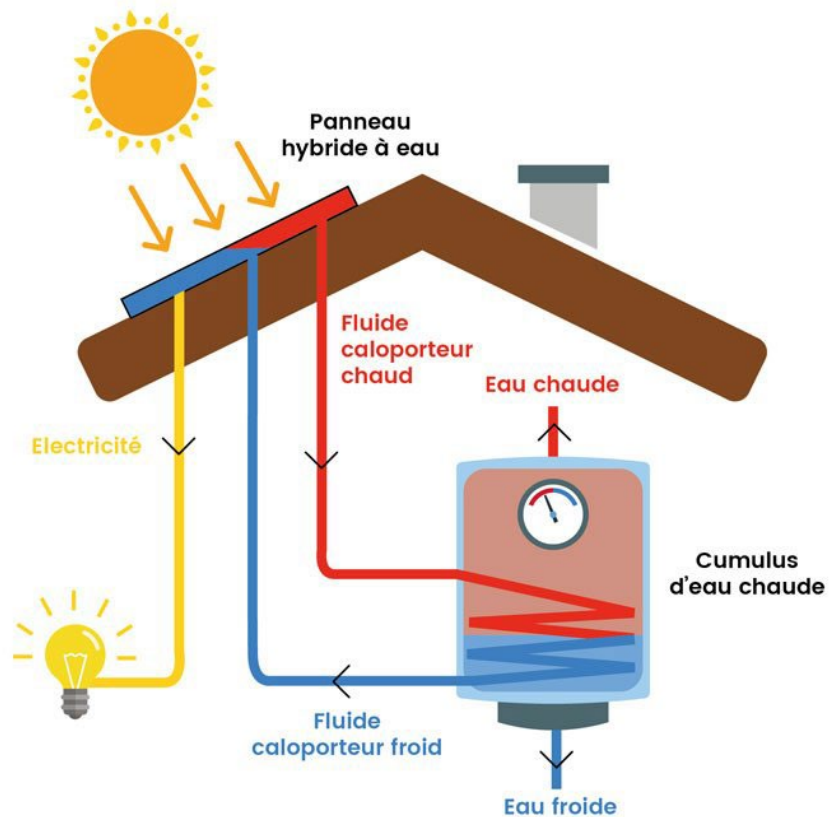
- ▶ Panneaux souples en silicium amorphe – collés sur la toiture
 - Densité : $\sim 45 \text{ Wc/m}^2$ de toiture
 - Charge surfacique moyenne : $\sim 6 \text{ kg / m}^2$
 - Durée de vie liée à la durée de vie de la toiture
 - Très salissant
 - Maintenance régulière nécessaire
 - Production moindre



Source : Projet Colryut



► Panneaux combinés photovoltaïques et solaire thermique



Sources: Insunwetrust, Dualsun



- + Gain de place
Améliore le rendement des PV
(rafraichissement de la sous-face)
- Coût





- ▶ 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 autres](#)
- ▶ Solution | [Installations photovoltaïques en toitures plates et inclinées](#)
- ▶ Solution | [Installations photovoltaïques intégrées au bâtiment \(BIPV\)](#)



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](#)
[Caractéristiques électriques des cellules et des modules photovoltaïques](#)
[Choisir l'emplacement des capteurs \[photovoltaïque\]](#)



Ouvrages

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



David PLUNUS

Ingénieur projet
écorce sa

☎ + 32 4 226 91 60

✉ info@ecorce.be



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

