

# GUIDE LUXEMBOURGEOIS D'INTÉGRATION ARCHITECTURALE DES PANNEAUX SOLAIRES PHOTOVOLTAÏQUES

VERSION SEPTEMBRE 2022

## COMMENT INTÉGRER UN PANNEAU SOLAIRE DANS SA CONSTRUCTION

**eurolsolar** EUROSOLAR  
LÉTZEBUERG a.s.b.l.

# PRÉFACE

Ce guide, qui a été réalisé par Eurosolar Lëtzebuerg asbl, en collaboration avec l'Ordre des Architectes et Ingénieurs-Conseils, la Chambre des Métiers, la Fédération des Artisans, la Klima-Agence, Greenpeace, le Service des sites et monuments nationaux ainsi que l'Administration des bâtiments publics, montre la nécessité et surtout le bienfait de la réflexion commune sur l'installation de panneaux solaires.

Il est maintenant actualisé pour la troisième fois parce que, de toute évidence, la technique progresse et surtout, la législation aussi. Les nouvelles aides sont intégrées dans le guide.

Le panneau solaire, mis à part sa performance énergétique, a également un impact visuel et esthétique sur le bâtiment. Le panneau solaire n'a plus le simple rôle d'un système de production énergétique, mais c'est un élément de construction à part entière, dont la durée de vie est aussi longue que celle des parties du bâtiment.

Jusqu'à maintenant les énergies nouvelles se sont additionnées aux anciennes, maintenant elles viennent à leur place. Cela veut dire que dans de nombreux secteurs, dont le secteur du bâtiment, des changements dans la manière de réfléchir et faire sont requis. D'un côté, il faut absolument penser production d'énergies renouvelables et leur utilisation dès le début du projet, de l'autre côté, les constructions ne peuvent que passer par une grande sobriété énergétique après leur finition, donc, durant leur occupation. Sans oublier la gestion de l'énergie grise, c'est-à-dire l'énergie utilisée lors de la construction ainsi que l'aspect « second life » des matériaux.

Chaque maître d'ouvrage, que ce soit pour une maison unifamiliale, pour un immeuble résidentiel, un bâtiment pour bureaux ou une école, un atelier artisanal ou une construction à vocation industrielle, chacun construit d'abord pour soi, en fonction de ses besoins. Cependant il construit aussi dans un environnement, un contexte social et dans le temps et l'espace, ce que lui accorde une responsabilité supplémentaire dans ce qu'il fait, notamment en ce qui concerne la production d'énergies renouvelables, mais pas seulement.

La transition énergétique vers le tout électrique va accroître inévitablement les besoins en électricité. A côté de la production, il faut apprendre à gérer utilisation et distribution. Prévoir dès le départ chez des nouvelles constructions, l'autoconsommation, incluant l'installation des bornes, prises, câblages, compteurs et autres appareils du genre « smart grid » requis pour la gestion intramuros, mais aussi pour gérer le réseau électrique dans son ensemble, s'impose.

La sobriété énergétique est requise parce qu'elle aide à réduire les besoins énergétiques. Un immeuble bien isolé aide à maintenir une température stable à l'intérieur contre les changements de chaud ou froid à l'extérieur, et aide ainsi à réduire la consommation électrique pour le chauffage. Des éléments de stockage, notamment des batteries et/ou pompes à chaleur, complètent le système pour l'immeuble tout comme et même mieux, pour un ensemble de constructions, un lotissement, un quartier.

Le rayonnement solaire constitue une source d'énergie gratuite, inépuisable, non polluante et disponible partout. Ce guide vise donc à encourager et à aider à prendre en considération le potentiel solaire du toit dès la phase de planification architecturale d'un bâtiment et à intégrer harmonieusement le photovoltaïque. L'usage de toutes ces techniques, qui existent et qui ne cessent d'évoluer tant au niveau efficacité qui est en croissant, tout comme qu'au niveau des prix, qui est en décroissant, est requis car la transition énergétique est un exercice dynamique, concernant nous tous.



**PAUL ZENS**

Président de Eurosolar  
Lëtzebuerg asbl

# MOT DE MONSIEUR LE MINISTRE DE L'ÉNERGIE CLAUDE TURMES

L'énergie solaire joue un rôle central dans la transition énergétique au Luxembourg. Elle est non seulement propre et aide le Grand-Duché à atteindre ses objectifs d'énergies renouvelables, mais - et c'est une caractéristique importante en ces temps de prise de conscience de notre dépendance des énergies fossiles étrangères - elle est également produite localement.

Au niveau européen, le Luxembourg se positionne en quatrième position par rapport à la capacité photovoltaïque installée par habitant, néanmoins notre potentiel solaire est encore loin d'être exploité. C'est pour cette raison que j'ai initié une véritable offensive solaire à travers des appels d'offres pour les grandes installations photovoltaïques, des régimes d'aides adaptés, par exemple pour les agriculteurs, ou encore la promotion de l'autoconsommation. Tous les acteurs - particuliers, agriculteurs, patrons de PME ou de grandes entreprises, communes et élus - peuvent facilement devenir acteurs de la lutte contre le changement climatique et en même temps profiter d'une énergie produite localement et abordable.



**CLAUDE TURMES**  
Ministre de l'Énergie

En 2020, les panneaux photovoltaïques installés sur notre territoire ont déjà couvert les besoins en électricité d'environ 120.000 personnes - une tendance qui se confirme en 2021 avec 1 264 nouvelles centrales photovoltaïques installées, ce qui équivaut à +90 MW. Cette hausse est 15 fois plus importante qu'en 2017. C'est la preuve claire que le Luxembourg fait place au soleil, pourtant nous devons aller encore plus loin afin de soutenir cette dynamique.

Avec Eurosolar Lëtzebuerg a.s.b.l, nous partageons une même ambition : le remplacement complet des énergies fossiles et atomiques par les énergies renouvelables. Ensemble, continuons à faire de l'énergie solaire une histoire à succès.

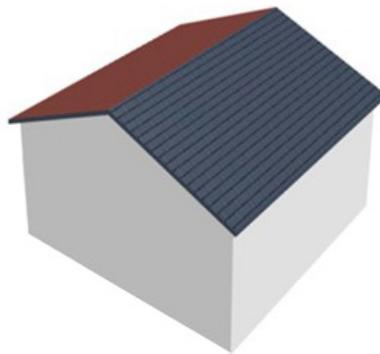
# TABLE DES MATIÈRES

Préface	1
Mot de Monsieur le Ministre de l'Énergie Claude Turmes	2
Les principales typologies d'implantations	4
Allier esthétique et intégration solaire - quelques règles	5
L'intégration par l'exemple	6
Maison individuelle - implantation en toiture plate	6
Maison individuelle - implantation en toiture inclinée	7
Maison individuelle - panneaux solaires invisibles	8
Maison unifamiliale - panneaux solaires intégrés en toiture et batterie	9
Parking Biohealth	10
Résidence Marie & Joe	11
Siège social de Schroeder & Associés S.A.	12
Zoom sur : Um Juck Panneaux PV couvrant 60% de la consommation totale!	13
Le point de vue de l'ingénieur-conseil	14
Bâtiment Public - implantation en toiture plate	15
Bâtiment à caractère éducatif	15
Bâtiment à caractère administratif	16
La double fonction des panneaux : production et signalétique pour la Rockal-Belval	17
Zoom sur l'intégration en toute discrétion	19
Bâtiment communal	20
Bâtiment à caractère éducatif	21
Le point de vue de l'architecte	22
La façade photovoltaïque	23
Zoom sur une vitrine d'innovations au service des professions de santé	24
Siège social de Betic S.A.	25
Le point de vue du maître d'ouvrage	26
Des panneaux renforcés pour un entretien facilité	27
Bâtiments historiques	28
Maison de l'Archéologie	28
Le point de vue du conseiller en énergie	29
Intégrations futuristes	30
Voile solaire haubanée	30
Technologies solaires translucides	32
Structure solaire urbaine	33
Le point de vue de l'architecte & solar designer	30
Clever primes	35
Remerciements	37
Liste de sociétés	37

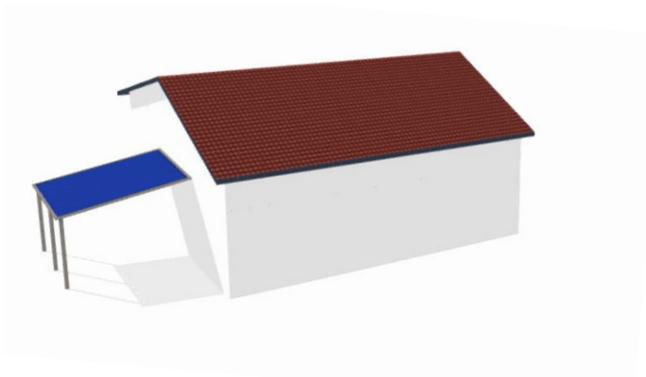
# LES PRINCIPALES TYPOLOGIES D'IMPLANTATIONS



Posé sur la toiture



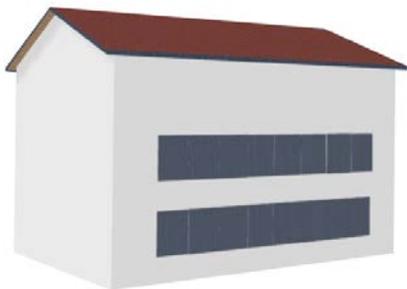
Sous formes de tuiles solaires



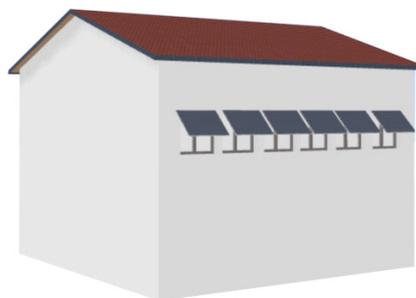
Sur une annexe : toiture terrasse, auvent ou brise-soleil



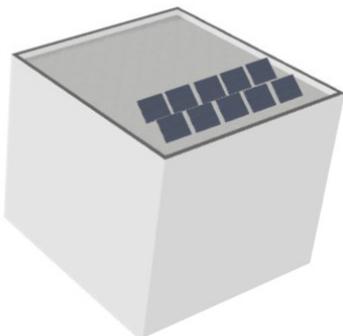
Intégration sur un garde-corps



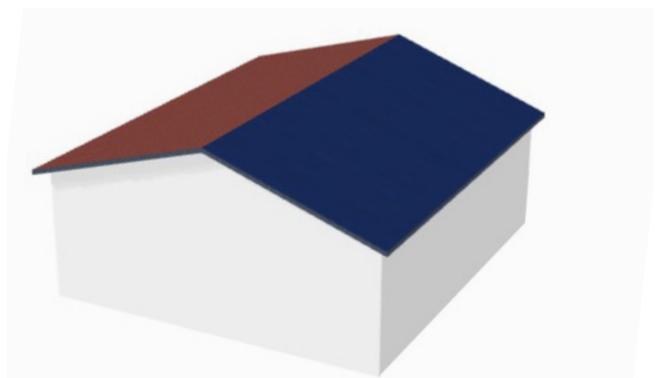
Intégration en façade



En pare-soleil sur façade



En toiture ou toiture-terrasse



Panneaux faits sur mesure

# ALLIER ESTHÉTISME ET INTÉGRATION SOLAIRE - QUELQUES RÈGLES



Placer les panneaux dans l'axe des fenêtres



Disposer les panneaux de manière équilibrée et symétrique



Sur une annexe : couverture totale ou équilibrée

# L'INTÉGRATION PAR L'EXEMPLE

MAISON INDIVIDUELLE OU BI-FAMILIALE - NOUVELLE CONSTRUCTION

## MAISON INDIVIDUELLE - IMPLANTATION EN TOITURE PLATE

PANNEAU INSTALLÉ EN SURIMPOSITION SUR CHÂSSIS



**L**orsqu'il s'agit d'une intégration en toiture plate il faut tenir compte de :

- la résistance au vent et aux intempéries ;
- la stabilité de la toiture ainsi que des ombrages ;
- synergie avec des espaces verts sur le toit, car le substrat peut être utilisé comme ballast pour la protection contre le vent et réduction de la température en été.



**Architecte**  
HO Architectes

Maison privée bi-familiale à énergie positive  
© HO Architectes

# MAISON INDIVIDUELLE - IMPLANTATION EN TOITURE INCLINÉE



Maison privée / passive  
© TR Engineering S.A.

Un panneau intégré en toiture inclinée produit de l'électricité et assure également une fonction technique, notamment en matière d'étanchéité sans faire de compromis sur l'esthétique.

Ils existent plusieurs types de panneaux solaires à intégrer, principalement on parle de deux catégories :

- 1 Les modules standards : avec ou sans cadre à intégrer directement.**
- 2 Les modules non-standards : adaptés en fonction du projet et faits sur mesure.**

Dans cet exemple, les panneaux solaires sont intégrés sur un versant de la toiture et remplacent le revêtement de celle-ci.

L'énergie produite par les panneaux solaires couvre les besoins en chauffage, en électricité et sert également à charger un véhicule électrique. Il s'agit du bilan annuel, et n'est pas une autarcie.

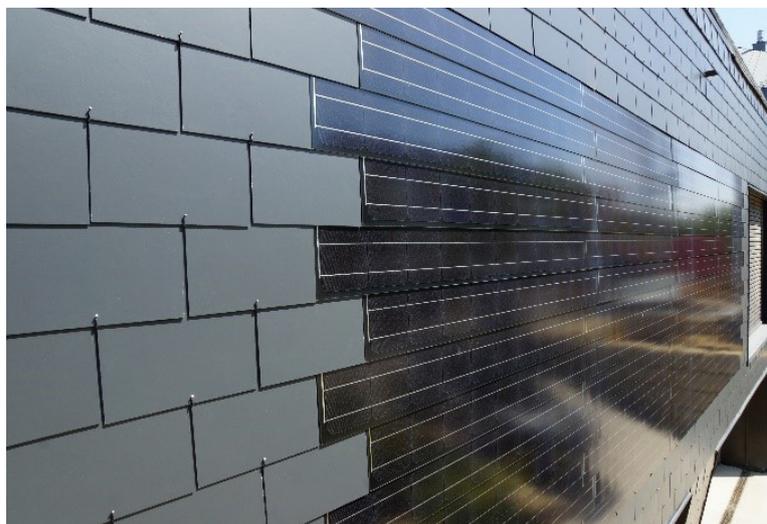
**Ingénieurs**  
**TR-Engineering S.A.**  
**Goblet Lavandier et Associés S.A.**

## MAISON INDIVIDUELLE - PANNEAUX SOLAIRES INVISIBLES



**P**our intégrer des panneaux solaires en façade, une profonde réflexion doit être menée en amont pour déterminer la meilleure solution d'intégration d'un point de vue esthétique, mais aussi et surtout technique. Ce sont bien souvent des concepts uniques qui sont mis au point pour s'adapter à chaque logement et à des contraintes particulières. Par exemple, pour cette maison unifamiliale, des tuiles solaires classiques ont été détournées de leur utilisation traditionnelle en toiture afin d'être intégrées en façade.

Au-delà de se marier parfaitement avec l'architecture caractéristique de cette maison, ces tuiles solaires assurent un niveau de performance élevé.



Maison unifamiliale  
© Betic Ingénieurs-Conseils

---

**Architecte**  
**Polaris Architectes**  
**Ingénieurs**  
**Betic Ingénieurs-Conseils**

# MAISON UNIFAMILIALE - PANNEAUX SOLAIRES INTÉGRÉS EN TOITURE ET BATTERIE



**L**a maison a été achetée en 2013 par les propriétaires, qui ont alors eu la vision de modifier la maison en collaboration avec de diverses entreprises afin qu'elle soit autarque au point de vue énergie.

Les rénovations de la maison ont commencé en 2014. Dans cette première étape, le courant et KNX Domotique, la technique sanitaire et le chauffage, l'aménagement intérieur (fenêtres et portes, salon, chambres, bureau), les chapes (béton ciré), la maçonnerie, la façade, l'aménagement du terrain (isolation, drainage, chemins, terrasse, garage externe) ont été refaits et la toiture a été remise à neuf.

Début 2021, la deuxième phase de rénovations a été effectuée. Ici, le courant et KNX domotique ont été étendus, la toiture a été remplacée par des panneaux solaires intégrés (modules de la société 3S Swiss Solar Solutions AG) d'une puissance de 25.12 kWc et des fenêtres de toit intégrés, et à commande électrique, ont été installées.

Une solution de stockage par batterie a également été pensée dans ce projet.

Aussi une solution... -> Les modules solaires et d'accumulateurs d'énergie offrent la possibilité de faire de l'autoconsommation et la création d'un réseau interne. Le système surveille le réseau CREOS et non seulement la maison est autarque, mais il s'agit d'une solution en îlot. C'est-à-dire que le système peut se déconnecter endéans quelques secondes du réseau national et établir endéans 3 à 8 secondes un réseau interne.

Les propriétaires sont toujours sur le chemin de continuer à exploiter le système et travaillent actuellement sur un système de recharge intelligent (on grid) pour voitures électriques avec 2 bornes de recharge. Aussi, l'installation photovoltaïque sera agrandie.

Leur passion et leur intérêt les ont poussés de plus en plus loin dans ce projet et ils continueront certainement à exploiter ce projet.

## Entrepreneur

Alain Cortolezzis

## Electricien

Electricité Wampach, soutenu par les équipes d'Intillion / Hoeppeke et d'IBC Solar (Allemagne)

## Technique sanitaire/chauffage

Metro S.A. Diekirch

## Chapes

SOBEDAL Luxembourg

## Travaux de toiture

Entreprise Weyrich Metty & fils

## Panneaux solaires

Solarwood Folkendange S.A.

## Menuisier

Menuiserie Eurobois

## PARKING BIOHEALTH



Initié fin 2019 et inauguré en Janvier 2021, le projet « Parking Biohealth » a été un grand succès pour la ville d'Esch et montre bien l'importance de la collaboration entre plusieurs acteurs (Enerdeal et Sudstrom) pour réussir la transition écologique du pays.

868 panneaux solaires d'une puissance totale de 287 kW sont installés sur le toit du parking aérien à 3 étages, qui comporte 460 places de stationnement. L'objectif était d'en faire un projet exemplaire car très visible pour la production d'énergie solaire sur un parking aérien récemment ouvert au public en utilisant les infrastructures existantes du parking aérien pour créer une source supplémentaire d'énergie verte. Ce projet est le premier projet de ce genre au Luxembourg et également le plus grand (issu d'un appel d'offre gouvernemental). Du fait de la rareté des grandes toitures industrielles et du caractère inapproprié de beaucoup d'autres surfaces, le caractère d'exemplarité permettra de générer de nombreux autres projets de ce type sur les parkings tant des entreprises privées que du secteur public; utilisant des surfaces déjà scellées.



**Architecte**  
Atelier d'Architecture Dariusz Pawlowski  
en collaboration avec PROgroup S.A.  
**Bureau d'études stabilité**  
Astron Buildings

# RÉSIDENCE MARIE & JOE



Construites en 2018, ces deux résidences sont équipées de 96 modules solaires sur un bâtiment et 85 modules sur l'autre ce qui donne une puissance totale de 54.3 kWp.

Environ 50% de l'électricité totale provient en temps réel de l'installation solaire. Sur l'année, les panneaux produisent pratiquement assez pour couvrir les besoins en énergie des deux bâtiments.

La vente de l'excédent d'électricité solaire permet de couvrir les coûts d'achat de l'électricité résiduelle.

Bien sûr, une solution pour le stockage par batterie, de l'électricité provenant des panneaux, a également été intégrée dans ce projet ainsi qu'un réservoir tampon d'eau chaude sanitaire. L'autoconsommation est donc totalement possible dans ce cas.

A côté des panneaux photovoltaïques, les bâtiments fonctionnent avec 2 pompes à chaleur avec corbeilles géothermiques.

---

**Architecte**  
**BENG Architectes Associés SA**  
**Ingénieur et concept énergétique**  
**Energipark Réiden s.a.**

# SIÈGE SOCIAL DE SCHROEDER & ASSOCIÉS S.A.



Entre les années 2017-2020, le nouveau siège social de Schroeder & Associés a été planifié et réalisé pour les besoins propres du bureau au niveau de la technicité innovatrice et de la durabilité de la construction.

La conception statique est très variée et intègre des fondations, des fondations surfaciques (radier), une structure en béton armé traditionnelle, des ouvrages de taille moyenne en construction métallique avec conception intégrale au bureau. La façade est en partie en bois et végétale, l'isolation est en cellulose.

Dès les premières réflexions, la construction durable et le bien-être des futurs occupants du bâtiment faisaient partie des principaux objectifs de Schroeder & Associés.

Le bâtiment, par son choix structurel, est entièrement accessible, modulable, flexible et démontable. Sa conception correspond à la philosophie «Building in layers».

La consommation d'énergie est quasi nulle (NZEB) et le besoin énergétique résiduel est couvert par une chaudière à pellets et une installation photovoltaïque de 29,7 kWc. Aussi, une ventilation avec récupération d'énergie et d'humidité en phase hivernale a été pensée.

Les matériaux utilisés pour ce projet sont écologiques, respirants, bio-sourcés, et permettent ainsi de garantir une qualité d'air intérieur optimale : des matériaux exempts de polluants ont été choisis et contrôlés préalablement avant leur mise en œuvre sur chantier.

Voilà un bureau qui a été planifié en tenant compte de tous les aspects importants pour le futur.



**Maître d'ouvrage**  
**Schroeder & Associés S.A.**  
**Maîtrise de l'oeuvre**  
**Architecture & Urbanisme 21**

## ZOOM SUR : UM JUCK PANNEAUX PV COUVRANT 60% DE LA CONSOMMATION TOTALE!



© Beng Architectes Associés

**Architecte**  
**Beng Architectes Associés**  
**Ingénieurs**  
**Betic S.A. - Ingénieurs Conseils**

Ce bâtiment à énergie positive, de classement énergétique AAA, est le premier immeuble d'habitation au Luxembourg, qui s'autoalimente en énergie à raison de 60% de sa consommation totale.

Le projet a regroupé 4 propriétaires privés pour la création de 4 logements : 2 appartements, un duplex et une maison.

La volonté première a été de réaliser un bâtiment énergétiquement autonome et quasi entièrement recyclable pour une empreinte écologique minimale. Le programme s'est donc orienté vers un bâtiment passif, utilisant au maximum le soleil.

Situé en environnement villageois, les 125 m<sup>2</sup> de toiture en panneaux photovoltaïques se font discrets ; la pente de toiture à 35° et le choix de panneaux sans cadres couvrant toute la toiture Sud, contribue à les assimiler aux toitures d'ardoises environnantes.

L'énergie est produite par une installation photovoltaïque de 22.8 kWp, pour les consommations de chauffage, eau chaude et d'électricité pour éclairage et appareils. Cette énergie est consommée ou stockée en batterie (lithium ion 18KWh). Si les batteries sont pleines, l'énergie est transformée en eau chaude sanitaire (réserve de 4 ballons de 300L). Le surplus de production peut aussi être vendu au réseau.

L'ensemble est géré par Energiepark Réiden mandaté comme syndic et gestionnaire qui exerce une nouvelle fonction de « concierge énergétique ». Chaque logement est doté de son système de régulation avec une pompe à chaleur eau/eau pour l'alimentation d'un ballon sanitaire de 500L et un échangeur intégré pour la ventilation.

**P**our tirer parti de l'énergie solaire de la façon la plus efficace possible, la conception d'une installation photovoltaïque doit reposer sur plusieurs éléments essentiels :

- Choisir les panneaux qui correspondent le mieux aux besoins identifiés;
- Concevoir une intégration esthétique harmonieuse avec le reste du bâtiment, en collaboration avec le maître d'ouvrage et l'architecte;
- Définir l'inclinaison et l'orientation idéale des panneaux (orientation sud, est/ouest ou autres, pose à plat ou inclinée...);
- Etudier les structures de support existantes, leur résistance au vent, les systèmes de fixation appropriés;
- Exploiter au mieux la toiture et les autres surfaces disponibles en veillant à l'intégration des couloirs d'entretien, des protections individuelles (lignes de vie...), ou des éventuelles végétations;
- Assembler de manière optimale les panneaux par groupes, ou « strings », en fonction des orientations et d'un éventuel ombrage;
- Modifier ou installer des protections parafoudre;
- Placer les onduleurs pour faciliter leur entretien et le dégagement de la chaleur;
- Raccorder efficacement l'installation sur le réseau électrique existant;

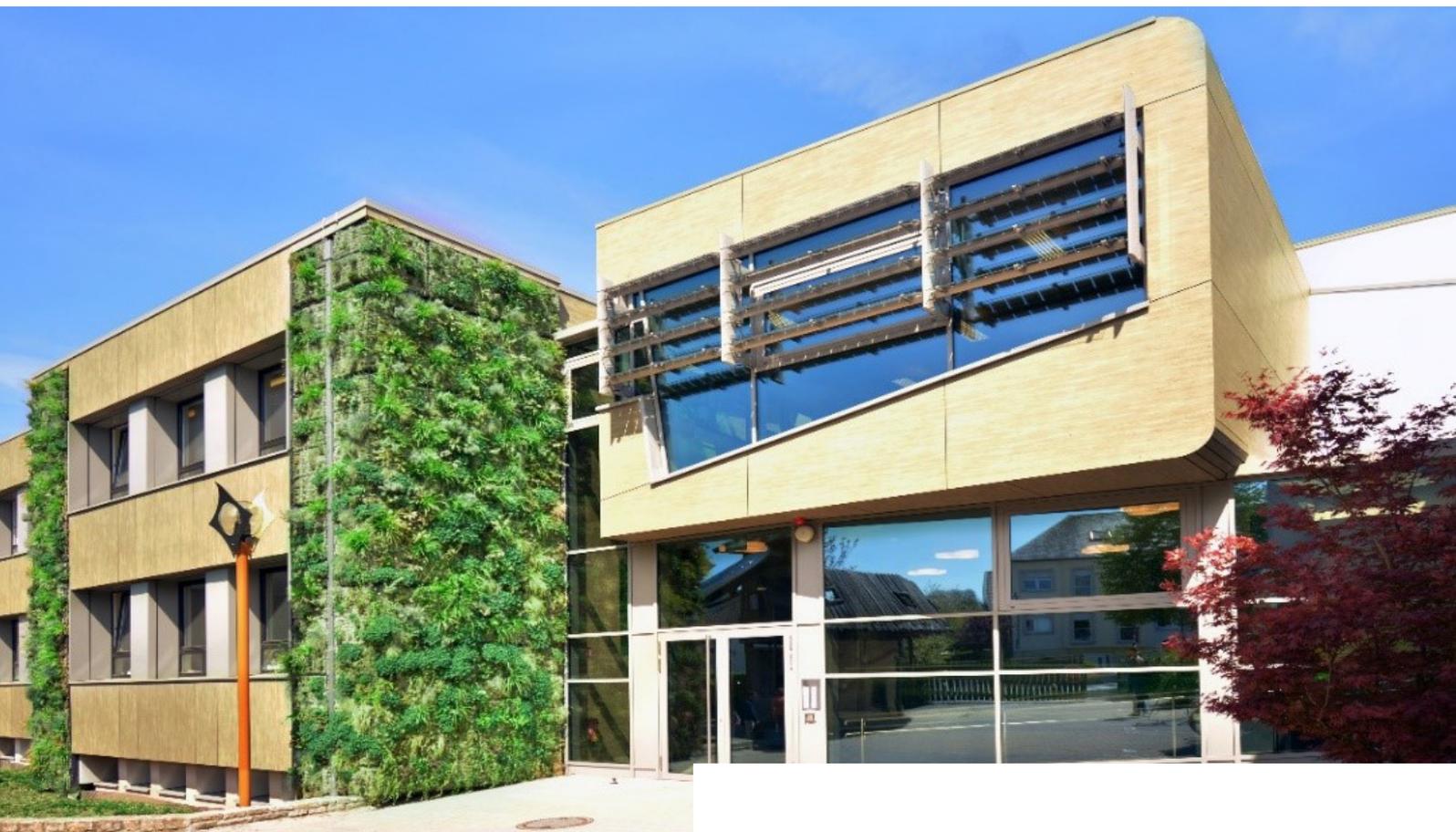
En matière d'installation photovoltaïque et plus largement de toute installation technique, l'ingénieur-conseil a un rôle central. Il dispose en effet des outils essentiels pour analyser les différents produits disponibles et ainsi conseiller au mieux le propriétaire. Parfaitement indépendant, il est la personne de confiance à solliciter pour choisir les panneaux les plus appropriés aux spécificités du site, qui assureront de ce fait la meilleure interaction entre le rendement et le dimensionnement possible et ce dans la durée. Les différentes simulations réalisées durant la phase d'étude permettent en effet d'obtenir une projection rigoureuse et fiable d'efficacité de l'installation sur sa durée de vie complète. Afin de proposer le meilleur rapport qualité-prix pour chaque produit retenu, l'ingénieur-conseil consulte également le marché et sélectionne le fournisseur le plus approprié, qu'il suivra durant toute la durée du chantier jusqu'à attester de la conformité de l'installation pour une mise en service sans défaut. L'ingénieur-conseil assiste d'autre part le propriétaire dans toutes les démarches administratives requises au niveau de la commune et des gestionnaires des réseaux et peut même proposer des modèles de gestion entre copropriétaires.

**M. Gilles CHRISTNACH**

Betic Ingénieurs-Conseils

# BÂTIMENT PUBLIC - IMPLANTATION EN TOITURE PLATE

## BÂTIMENT À CARACTÈRE ÉDUCATIF



Ecole fondamentale et maison relais Itzig  
© XXA Architecture s.à r.l.

**D**ans le cadre de la rénovation d'un bâtiment à caractère éducatif, des panneaux solaires photovoltaïques ont été installés sur la toiture.

La disposition des panneaux solaires sur cette toiture réduit leur impact visuel.

Pour allier le solaire actif et le solaire passif, des modules photovoltaïques sont intégrés également en brise-soleil.

Ceci permet de profiter des apports solaires gratuits en hiver et de protéger le bâtiment contre la surchauffe en été. Tout en produisant de l'électricité !

L'inclinaison du brise-soleil photovoltaïque doit être optimale afin de permettre une production maximale d'électricité.

---

### Architecte

**XXA Architecture s.à r.l.**

### Maître d'ouvrages

**Administration communale de Hesperange**

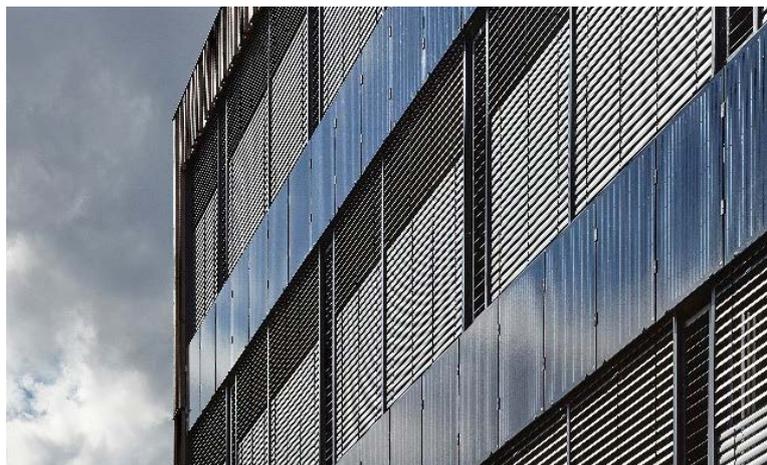
## BÂTIMENT À CARACTÈRE ADMINISTRATIF



**S** iège de l'Administration de la nature et des forêts et premier bâtiment public luxembourgeois à énergie positive. Construit au bord de la Sûre, des panneaux photovoltaïques ont été installés en toiture, sur la façade sud ainsi que sur l'ensemble du carport.

L'énergie produite par l'ensemble de ces installations sur une durée de vie de 50 ans est supérieure au cumul de l'énergie grise utilisée pour la construction ainsi qu'à la consommation énergétique nécessaire au conditionnement du bâtiment pendant ce temps.

A ceci s'ajoute une certification DGNB en platine, qui s'inscrit dans la ligne droite de l'Administration des bâtiments publics de promouvoir le développement durable.



Administration de la nature et des forêts  
© AM atelier b – morph 4 / ANF / Lucas Huneke

### Architectes

AM atelierb – morph4

### Génie-civil

Daedalus Engineering s.à r.l.

### Génie-technique

Enerventis Lux S.A.

### Consultant DGNB

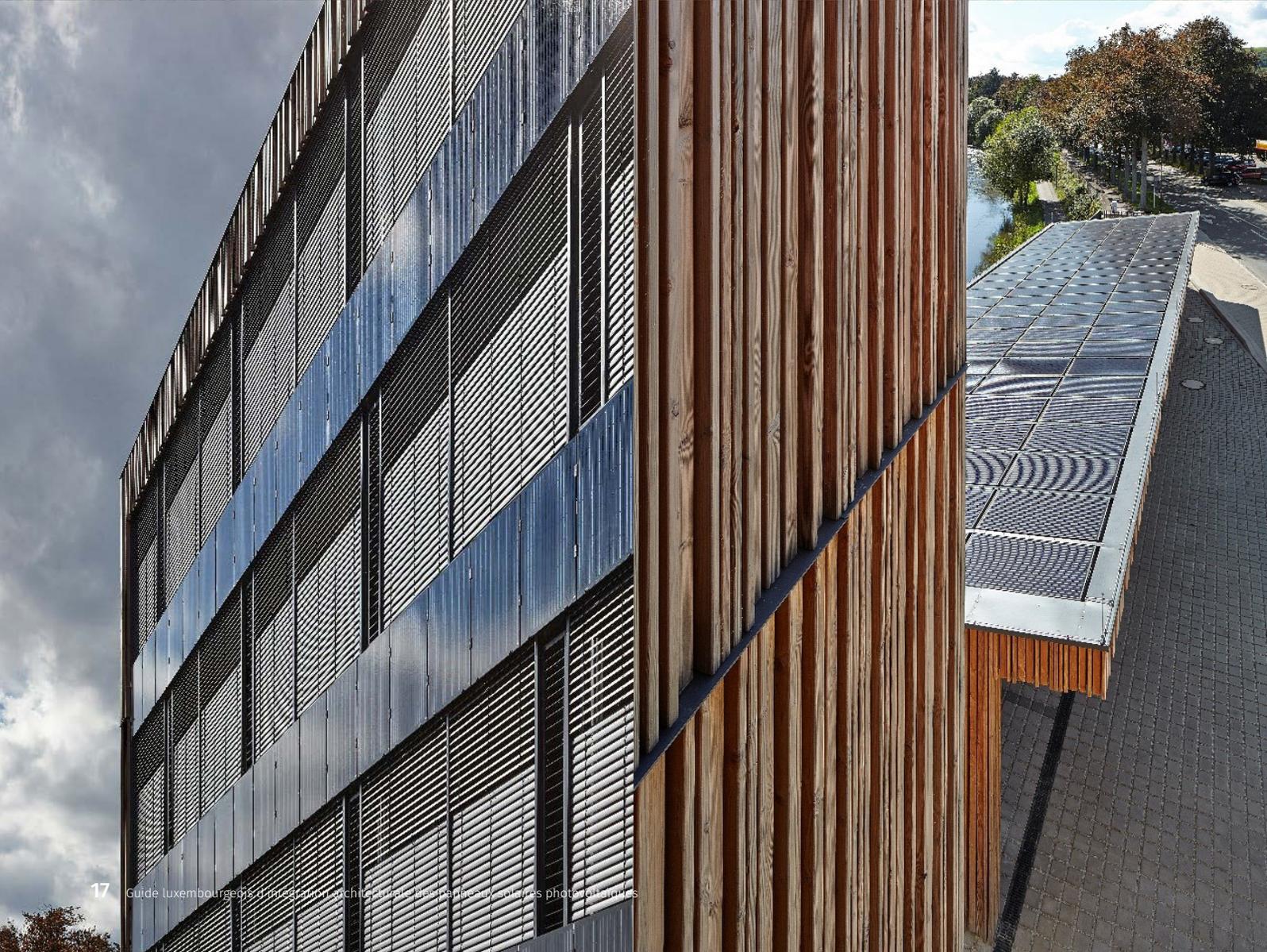
E3 Consult s.à r.

### Consultant en énergie

EBP Schweiz AG

### Maître d'ouvrage

Administration des bâtiments publics



# LA DOUBLE FONCTION DES PANNEAUX : PRODUCTION ET SIGNALÉTIQUE POUR LA ROCKHAL-BELVAL



Une installation combinant des panneaux de deux couleurs, rouge et noir, a été développée pour créer, en sus de la production électrique, une signalétique lumineuse et faire apparaître le mot « ROCKHAL ». L'espace entre les panneaux a été augmenté pour l'ajout d'un éclairage LED et des demi-panneaux de tailles presque toutes différentes ont été réalisés sur mesure.

Sur la toiture sont installés des panneaux photovoltaïques à simple fonction de production.



## Architecte

Beng Architectes Associés

## Génie-technique

Betic S.A. - Ingénieurs Conseils

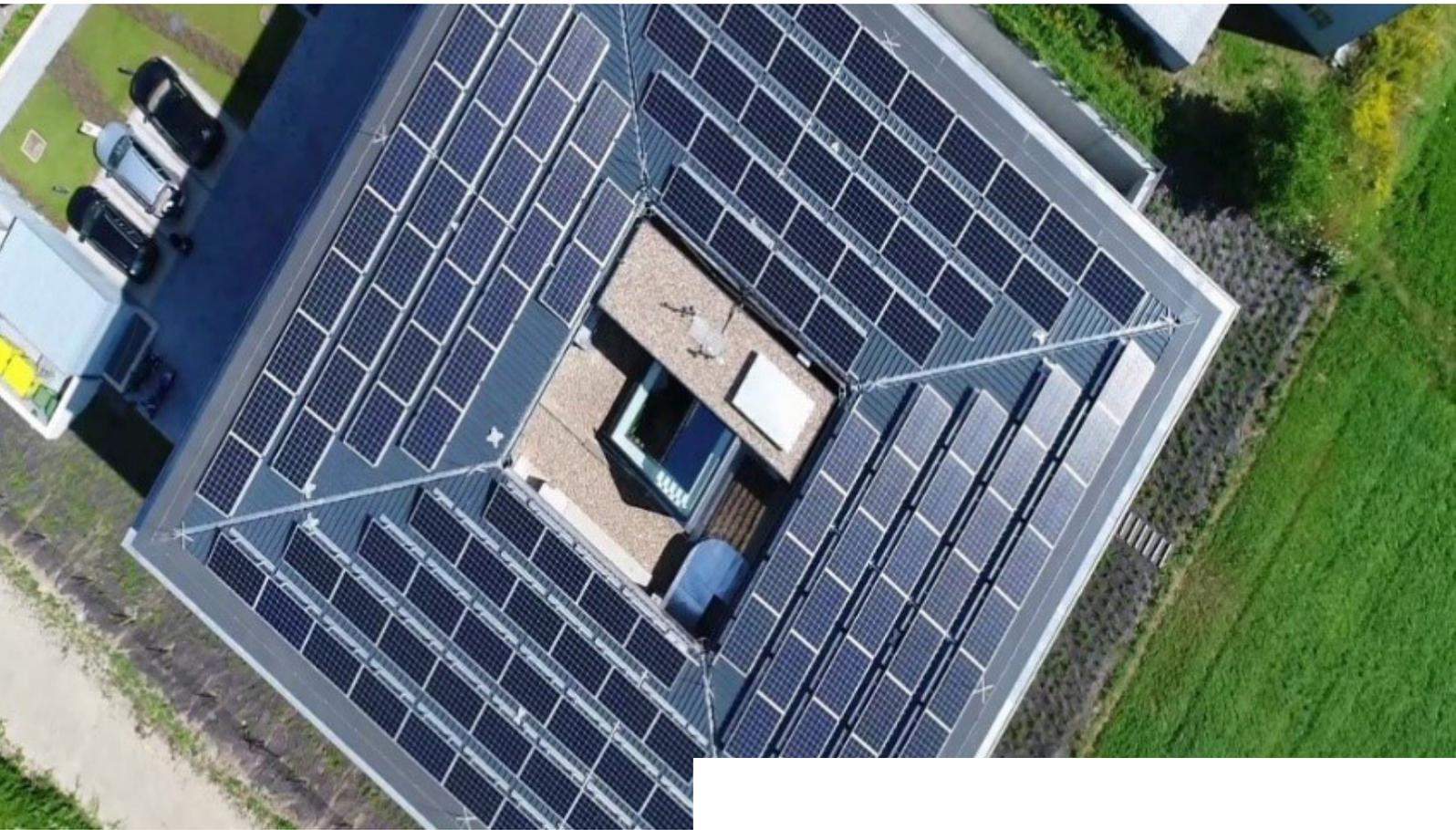
## Maîtres d'ouvrages

Le Fonds Belval



© Fonds Belval

# ZOOM SUR L'INTÉGRATION EN TOUTE DISCRÉTION



Bureaux de Goblet Lavandier et Associés S.A.  
© Goblet Lavandier et Associés S.A.

**L**abélisé DGNB Platine, ce bâtiment s'inscrit définitivement dans la liste des bâtiments fonctionnels visant aussi bien la perfection environnementale que la durabilité économique.

Pour atteindre le nearly zero energy building, ce bâtiment a été doté de techniques innovantes, solaires et géothermiques afin de permettre des économies d'énergie.

L'installation photovoltaïque a été posée sur une toiture conçue en tôle galvanisée. Son intégration est aussi bien esthétique que discrète, la puissance installée est de 40 kWc. En étant équipé de batteries de stockage, la consommation propre de l'installation photovoltaïque est augmentée.

# BÂTIMENT COMMUNAL



Il s'agit d'un nouvel atelier communal avec deux halls, le premier accueillant le service technique et le deuxième le service d'incendie. Les panneaux solaires ont été intégrés sur le côté sud-ouest de la toiture sur une surface de 260 m<sup>2</sup> pour une puissance de 177 W/m<sup>2</sup>. Cette dernière est de construction métallique avec tôles à profil trapézoïdal et panneaux composites en aluminium. Une bande vitrée sépare la toiture des murs et lui donne un aspect flottant.



Atelier communal avec poste de pompier à Biver  
© Steve Troes

---

## Architecte

Web Sàrl

## Ingénieurs-conseils

INCA Ingénieurs-Conseils

## Génie-civil

INCA Ingénieurs-Conseils

## Génie-technique

Ekoplan S.A.

## Maîtres d'ouvrages

Administration communale de Biver

# BÂTIMENT À CARACTÈRE ÉDUCATIF



Campus scolaire multifonctionnel, classé basse énergie grâce à l'installation photovoltaïque de sa toiture. L'inclinaison ainsi que l'orientation des différents panneaux ont été étudiées avec précision de manière à maximiser la puissance. Les rangées des panneaux sont posées de manière à éviter les ombres des uns sur les autres.

Une intégration réussie nécessite un bon compromis entre différents paramètres dès la phase de conception. Ces paramètres peuvent être d'ordre architectural (l'orientation du bâtiment, l'inclinaison du toit, les masques et ombres ainsi que l'exposition aux vents, ...), d'ordre réglementaire (respect des lignes de vie, nombre et disposition des coupoles de désenfumages, ...) ou bien d'ordre sécuritaire (le risque incendie et de vandalisme). Ce compromis influence fortement le résultat final.



Photos : Campus scolaire Schouweiler  
© WW + Architektur & Management SARL

## Architecte

WW + Architektur & Management SARL

## Génie-civil

Goblet Lavandier & Associés Ingénieurs-Conseils SA

## Génie-techniques

TR Engineering SA

## Maître d'ouvrages

Administration communale de Dippach

Comme tout élément de la peau extérieure d'un bâtiment, les panneaux photovoltaïques contribuent à l'esthétique du bâtiment. Il faut éviter de les considérer seulement comme équipement. Il ne faut pas oublier que, comme les portes et les fenêtres, ils participent à la composition architecturale des murs et des toitures.

Le choix de leur forme, matériau et teinte ainsi que leur implantation fait parti de la composition architecturale : en ce sens, selon le contexte et le style architectural, ils peuvent se faire très discrets ou, apparaître comme des éléments structurants et objets de design.

Au milieu de toitures ardoisées, des panneaux de teinte noire, assemblés en rectangle, sans cadre, seront parfaitement discrets. A l'inverse lorsque le photovoltaïque est un élément central du parti architectural, il peut devenir moteur d'innovations intéressantes en termes de volumétrie, de façades...

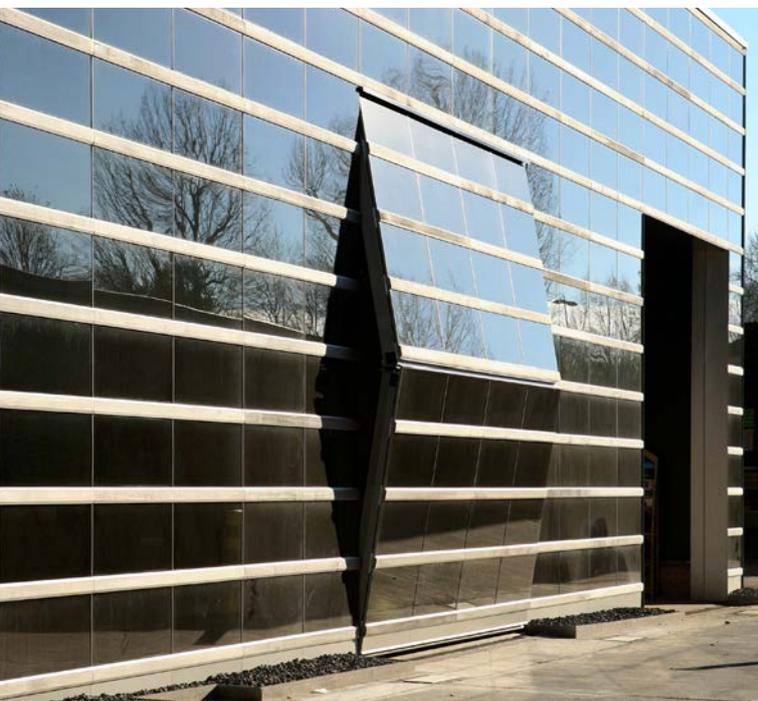
De façon générale, tous les projets devraient prévoir leur installation à court ou long terme, avec une conception du projet anticipant cette possibilité : par exemple, en réduisant ou regroupant les émergences en toiture (cheminées, équipements techniques) pour libérer des surfaces et limiter les ombres générées, et également en réservant des gaines pour les alimentations électriques.

**M. Albert GOEDERT**

Beng Architectes Associés



# LA FAÇADE PHOTOVOLTAÏQUE



Photos du bâtiment : Halls et bureaux Hoffmann Frères  
© Hoffmann Frères S.à r.l. et Cie s.e.c.s.

Ces panneaux photovoltaïques sont intégrés de manière à ce que la façade parait uniforme et homogène et que même la porte du garage s'y fonde complètement.

Cette intégration a été réalisée dans le cadre d'une rénovation d'un bâtiment servant de hall industriel et de surface de bureaux.

Grâce à cette installation photovoltaïque ce bâtiment a un bilan énergétique positif.

---

## Architectes

CCArchitectes S.A.

Jean Petit Architectes S.A.

Petit Carré Architectes Sàrl

## Ingénieurs-Conseils

Jean Schmit Engineering Sàrl

## Maître d'ouvrages

Hoffmann Frères S.à r.l. et Cie s.e.c.s.

# ZOOM SUR UNE VITRINE D'INNOVATIONS AU SERVICE DES PROFESSIONS DE SANTÉ

## LYCÉE TECHNIQUE POUR PROFESSIONS DE SANTÉ À ETTTELBRUCK



**L**e Lycée technique pour professions de santé à Ettelbruck est un bâtiment alliant esthétique, efficacité énergétique et respect de l'environnement.

Ce lycée est le premier bâtiment d'enseignement public à énergie positive au Luxembourg grâce à ses 1626 panneaux photovoltaïques d'une surface de 2120 m<sup>2</sup> intégrés en toiture qui produisent près de 275 % de ses besoins.

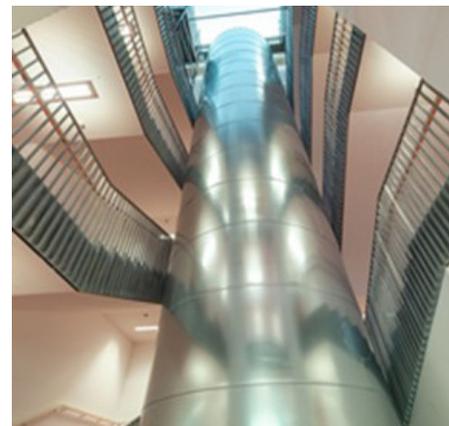
En outre, 52 collecteurs thermiques ont été installés verticalement en façade pour couvrir près de 100 % des besoins en chauffage du bâtiment. Les panneaux photovoltaïques et les panneaux solaires contribuent à son design architectural unique. L'énergie est stockée dans un réservoir saisonnier de 91.000 litres mesurant près de 20 mètres de hauteur. Il s'agit du plus grand réservoir de ce type au Luxembourg. Grâce à ses différentes installations novatrices, le lycée est le premier bâtiment au Luxembourg qui a obtenu la certification environnementale très exigeante « Minergie-P-Eco ».

**Intégration en façade :**  
allier esthétique et fonctionnalité

**Intégration en toiture :**  
couverture et production d'énergie



© Marie De Decker



**Architecte**  
Fabek Architectes s.à r.l.  
**Génie-civil**  
Daedalus Engineering s.à r.l.  
**Génie-technique**  
Betic S.A.  
**Consultant en énergie**  
EBP Schweiz AG  
**Maître d'ouvrage**  
Administration des bâtiments publics

# SIÈGE SOCIAL DE BETIC S.A.



Bureaux de Betic S.A. Ingénieurs Conseils  
© Betic S.A. Ingénieurs Conseils

**E**n 2009, Betic S.A. a voulu transformer une ancienne ferme de 720 m<sup>2</sup> afin de produire un maximum de leur énergie eux-même et d'être le plus neutre possible en termes d'émissions de CO<sub>2</sub>, tout en respectant le gabarit existant parce que le bâtiment fait partie du patrimoine de la commune de Dippach.

Leur demi toiture photovoltaïque côté rue 100% intégrée (panneaux MegaSlate) fait partie des principales techniques pour atteindre ce but.

La production annuelle des panneaux orientés est-ouest se situe aux alentours de 18.000 kWh. Les panneaux sont parfaitement étanches à l'eau, on peut donc économiser sur les ardoises, qui sont devenues inutiles.

Les pans de toiture donnant sur l'arrière, et qui sont munis de fenêtres, sont quant à eux en ardoise.

Dès la première année, la moitié des besoins en électricité ont été couverts, sachant qu'une trentaine de personnes travaillent dans ce bâtiment.

**Panneaux solaires**  
**Solarwood Folkendange S.A.**

**L**e développement durable et la lutte contre le réchauffement climatique sont des sujets d'actualité.

L'installation de panneaux photovoltaïques est un moyen efficace pour le maître d'ouvrage pour réduire l'empreinte carbone de ses bâtiments.

Afin d'installer une installation photovoltaïque efficace qui s'intègre bien dans la construction et ne causant pas d'inconvénients, il faut tenir compte de quelques points importants pour assurer le caractère durable de cette installation :

- L'état de la toiture doit être contrôlé quant à son état statique, son isolation thermique et son étanchéité. Si des travaux sont prévisibles d'être nécessaires à moyen terme, il vaut mieux les réaliser avant les travaux d'installation photovoltaïque.
- Une bonne planification est importante en vue de traiter de manière optimale les aspects d'esthétique et de sécurité ou encore de gêne comme un trop fort éblouissement.
- La rentabilité à long terme doit être prise en compte en incluant les frais de maintenance, comme par exemple en prévoyant un accès facile aux composants principaux de l'installation. Un système de surveillance de la production électrique permet de détecter des anomalies et de les éliminer rapidement.
- La production annuelle doit être maximisée en tenant compte de l'ombrage. Ceci en utilisant le maximum des surfaces disponibles en toiture, sur carports, garde-corps et façades, et en analysant toutes les orientations possibles à côté de l'orientation sud choisie classiquement.

Le maître d'ouvrage peut d'avantage minimiser son empreinte carbone en combinant une installation photovoltaïque efficace avec un bâtiment à basse consommation.

L'Administration des bâtiments publics a réalisé des bâtiments à énergie positive, c'est-à-dire pour lesquels la production d'énergie dépasse la consommation sur le cycle de vie tout en incluant l'énergie grise (p.ex. : Administration de la nature et des forêts à Diekirch, Lycée technique pour professions de santé à Ettelbruck, Maison d'enfants de l'État à Schifflange).

Les avantages d'un bâtiment à basse consommation combiné à une installation photovoltaïque sont multiples :

- bâtiment durable,
- réduction de l'empreinte carbone,
- réduction des frais d'énergie et donc de la dépendance du prix de l'électricité et combustible fossile,
- production d'énergie silencieuse,
- intégration esthétique des panneaux photovoltaïques,
- rentabilité en considérant les régimes d'aide.

### **M. Laurent Wahl**

*Ingénieur*

Administration des bâtiments publics

# DES PANNEAUX RENFORCÉS POUR UN ENTRETIEN FACILITÉ

## LA MAISON DE L'INNOVATION



Maison de l'innovation  
© Le Fonds Belval

**Architecte**  
Bourguignon Siebenaler Architectes Sàrl  
**Ingénieurs-Conseils**  
Betic S.A. - Ingénieurs Conseils  
**Maître d'ouvrages**  
Le Fonds Belval

**5** 66 panneaux photovoltaïques ont été installés sur le toit de la maison de l'innovation à Belval. L'objectif de cette installation était de maximiser la production énergétique en installant autant de panneaux solaires que possible en toiture. Les panneaux, de couleur noir mat, non réfléchissants, sans cadre, sont installés presque à plat (pente < 1 %) sur les dalles en béton autoportantes formant la toiture. L'aspect visuel homogène et sobre des panneaux et leur géométrie parfaite de disposition conduit à une toiture pouvant être considérée comme 5ème façade, s'intégrant discrètement dans l'environnement urbain et patrimonial au vu de la proximité immédiate des hauts fourneaux inscrits à l'inventaire des Sites et monuments nationaux. L'épaisseur du verre a été doublée et passe de 4 mm à 8 mm, les panneaux pouvant ainsi supporter 200 kilos par mètre carré et facilitent les déplacements pour réaliser l'entretien.

# BÂTIMENTS HISTORIQUES

**L**a performance énergétique des bâtiments historiques ne doit pas être négligée car ces bâtiments consomment beaucoup d'énergie.

L'intégration de panneaux solaires dans ce type de bâtiment est souvent plus complexe qu'une intégration dans un bâtiment ordinaire et nécessite la prise en compte de différents paramètres au même temps.

Parmi ces paramètres sont l'authenticité, l'originalité, le caractère et l'histoire du bâtiment.



Maison de l'Archéologie à Dalheim  
© Service des sites et monuments nationaux

## MAISON DE L'ARCHÉOLOGIE

**B**âtiment inscrit à l'inventaire supplémentaire des sites et monuments nationaux et construit sur des vestiges romains, il comprend un étage destiné à accueillir des archéologues, notamment pour la logistique des périodes de fouilles.

Le Service des sites et monuments historiques a décidé de lancer des analyses poussées dans le but d'améliorer l'efficacité énergétique de ce bâtiment.

Pour ce faire, il a fallu trouver un juste compromis entre l'efficacité énergétique et la valeur historique et architecturale de ce bâtiment sans toutefois perdre de vue sa dimension archéologique !

La solution a été trouvée en partenariat avec la fondation Kibernetik de l'université technique de Darmstadt et qui consiste en la capacité du bâtiment à s'autoréguler du point de vue énergétique au moyen de panneaux en polycarbonate.

**L**e conseiller en énergie est souvent le premier contact pour les personnes intéressées par le photovoltaïque. Il donne des explications quant aux exigences d'installation, aux démarches à réaliser et aux aides financières dont le demandeur peut bénéficier. Mais il doit également être une source de motivation pour permettre à l'idée, qui a germé chez le propriétaire d'un bâtiment, de se développer en un projet concret et que la réalisation prenne enfin cours. Différents outils sont nécessaires à la réalisation de sa tâche, comme par exemple une panoplie d'informations sur notre site internet, ou encore la possibilité de simuler les aides avec notre application myrenovation. Il s'avère également très intéressant de consulter le cadastre solaire sur [geoportail.lu](http://geoportail.lu) afin de découvrir le potentiel solaire de son bâtiment et de simuler le rendement de l'installation.

Un élément primordial du travail d'accompagnement du conseiller est également de mon-

trer aux personnes intéressées des exemples de bonne mise en œuvre du photovoltaïque, ou comment intégrer cette technologie d'une façon judicieuse, esthétique et efficace dans son bâtiment. Comme le photovoltaïque est souvent un élément assez visible de la construction, ainsi qu'un équipement qui y reste pendant de longues années, une intégration professionnelle dans le bâtiment est essentielle. Le Guide luxembourgeois d'intégration architecturale des panneaux solaires photovoltaïques permet de montrer les différents types de panneaux, leurs possibilités de pose et d'excellents exemples d'une intégration architecturale réussie. Il pourra ainsi servir au « mainstreaming » du photovoltaïque, maillon indispensable dans une transition énergétique durable.

**M. Gilbert Théato**

*Chef de Projets*  
Klima-Agence

# INTÉGRATIONS FUTURISTES

Projet BotaSolar  
© Sunsoak-Design

## VOILE SOLAIRE HAUBANÉE





## PROJET BOTASOLAR

Ce projet de couronnement solaire d'un édifice existant est cosigné par Sunsoak-design et Ney & Partners.

Le client avait ouvert en 2016 un concours restreint d'architectes durant lequel la proposition de cette voile solaire haubanée a été retenue.

Elle prouve la possibilité d'intégrer des centrales solaires élégantes dans un contexte urbain existant parfois délicat.

Le principe de survoler les obstacles d'une toiture plate permet de multiplier par trois la puissance installée pour un total de 140 kWc.

Le projet est en cours d'exécution et sera livré en 2020.



Projet BotaSolar  
© Sunsoak-Design

# TECHNOLOGIES SOLAIRES TRANSLUCIDES



Il est possible d'adapter les technologies solaires translucides les plus récentes au résidentiel. Le projet de la maison Otten en est la preuve. Le solaire architectural y est concentré dans les verres fixes du cube transparent et joue le rôle de production solaire aussi bien que de protection solaire. La signature des architectes étant ce cube verrier en simple vitrage escamotable, espace intérieur/extérieur qui joue également le rôle de génératrice d'énergie pour l'ensemble du bâtiment.

Maison Otten  
© Sunsoak-Design

# STRUCTURE SOLAIRE URBAINE

## PROJET PARIS PLACE COLETTE



Place Colette à Paris  
© Sunsoak-Design

**L**a structure solaire urbaine de la place Colette a été initiée par la Ville de Paris en 2010. Elle avait pour intention d'offrir une structure légère, versatile et autonome en énergie. Les technologies couches minces orangées, semi-transparentes, fournissent la quantité d'énergie suffisante pour l'éclairage, via un stockage d'énergie par batteries dans le mobilier urbain. La structure s'éteint donc progressivement en fin de nuit et avait été dessinée pour être transposable à d'autres places, n'utilisant aucun câblage enterré.



## LE POINT DE VUE DE L'ARCHITECTE & SOLAR DESIGNER

La transition en cours est une période particulièrement inspirante pour les architectes, car ils doivent réinventer les formes ainsi que les langages architecturaux.

Les bâtiments ont toujours été un abri contre les éléments externes. Aujourd'hui l'enveloppe doit absorber l'énergie de ces éléments.

L'énergie décentralisée de puissance, dans un contexte urbain est un challenge. Produire localement, pour un quartier, sur une place publique ou un bâtiment est devenu possible.

Il n'est plus alors question de panneaux solaires mais d'objets d'urbanisme, consommateurs en espace, demandant un dessin particulier et une validation par les urbanismes locaux qui ont un rôle prépondérant.

Les bâtiments existants représentent 99 % du tissu urbain d'une ville. Leur taux de renouvellement fait que l'on connaît aujourd'hui 65 % du tissu urbain de l'année 2060. La réponse est donc moins importante dans les bâtiments neufs hyper-technologiques que dans l'actualisation de cette situation pour accompagner la transition énergétique des villes.

Le challenge de l'autonomie, de l'énergie décentralisée demande de s'approprier des réflexes de design que la nature nous indique dans sa constante lutte contre le rayonnement solaire.

Une nouvelle demande sociétale est exprimée. A nous d'en construire la réponse.

**M. Jean-Didier Steenackers**

# Klimabonus

**A**vec Klimabonus, vous disposez d'aides financières pour entreprendre un mode de vie plus respectueux du climat. Qu'il s'agisse de logement, de mobilité, d'énergies renouvelables ou de biodiversité, mettez dès à présent le cap sur un avenir durable.

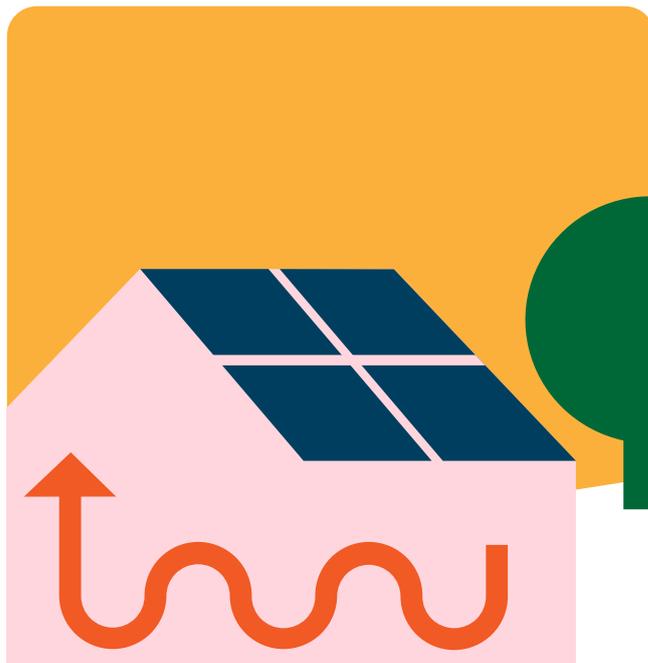
KLIMABONUS VOUS PROPOSE UNE SOLUTION POUR CHAQUE PROJET. PARTEZ DÈS À PRÉSENT À LA DÉCOUVERTE DU PROGRAMME DE SUBVENTIONS.



## LOGEMENT

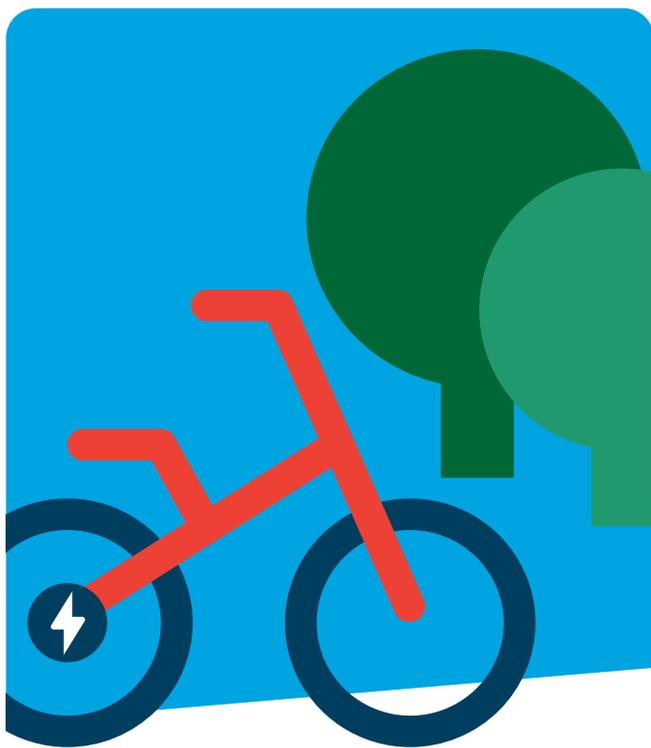
**S**i vous envisagez de construire ou de rénover énergétiquement votre logement, vous pouvez prétendre à une sélection d'aides financières adaptées. Les matériaux d'isolation pour votre rénovation sont subventionnés par Klimabonus. L'épaisseur, la conductivité thermique, ainsi que le type du matériau isolant déterminent le montant de la subvention étatique accordée. Il vous est dorénavant possible de profiter d'une aide pour une seule mesure de rénovation.

Si vous planifiez une nouvelle construction, informez-vous sur les critères LENOZ (Lëtzebuurger NO-haltegskeet Zertifizéierung), certification du ministère du Logement, pour profiter des aides Klimabonus.



## ÉNERGIES RENOUVELABLES

**S**i vous souhaitez opter pour un système de chauffage favorisant les énergies renouvelables et vous débarrasser de votre ancienne chaudière à combustibles fossiles, vous pouvez bénéficier d'une série d'aides étatiques (p. ex. jusqu'à 12.000 € pour l'installation d'une pompe à chaleur pour un bâtiment existant et 3.000€ pour nouvelle maison unifamiliale). Des bonis supplémentaires sont également disponibles pour la mise en place d'un réservoir tampon, le remplacement d'un système de chauffage fossile ou électrique ou encore l'élimination de votre citerne à mazout. Si vous disposez d'une surface de toit adaptée et bien exposée au soleil, vous pouvez faire installer des panneaux solaires pour produire de l'électricité photovoltaïque. Grâce aux tarifs d'injection vous pouvez profiter d'un revenu intéressant pour l'énergie que vous produisez ou encore autoconsommer une partie de l'électricité pendant la journée.



## MOBILITÉ

**V**ous souhaitez passer à une mobilité plus durable ? Qu'il s'agisse d'un véhicule électrique, de l'installation d'une borne de charge privée à domicile, d'une voiture à hydrogène ou d'un vélo, vous pouvez bénéficier d'une série d'aides adaptées (jusqu'à 8.000 € pour une voiture électrique (< 18 kWh /100 km)).



**Pour tous ces projets, la nouvelle plateforme de Klima-Agence vous permet de simuler toutes les aides disponibles, qu'elles soient étatiques, communales ou mises à disposition par les fournisseurs d'énergie.**

Le simulateur des aides vous offre un accès facile à toutes les primes disponibles et simule le montant total dont vous pouvez profiter pour votre projet.

Découvrez le simulateur des aides :  
<https://aides.klima-agence.lu>



LE GOUVERNEMENT  
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG



**8002 11 90**

De 8h à 12h et de 13h à 17h



**klima-agence.lu**

## REMERCIEMENTS

Eurosolar Lëtzebuerg asbl tient à remercier particulièrement pour la réalisation de cette première édition du Guide luxembourgeois d'intégration architecturale des panneaux solaires photovoltaïques :

- > Gilles Christnach  
Betic
- > Laurent Wahl  
Administration des bâtiments publics
- > Albert Goedert  
BENG architectes
- > Pierre Hurt  
OAI
- > Steve Weyland  
Team31
- > Gilbert Théato, Bruno Barboni & Jean-Marc Staudt  
Klima-Agence
- > Eva-Maria Lang, Gilles Reding  
Chambre des Métiers
- > Frank Thinnes  
Greenpeace
- > Catherine Medernach  
Service des Sites & Monuments Nationaux
- > Jean-Didier Steenackers  
Sunsoak-Design
- > Henri Kox, Lidia Rahal  
anciennement Eurosolar  
Lëtzebuerg asbl
- > Marc Lindner, Cédric Schiltz  
Eurosolar Lëtzebuerg asbl
- > Ingrid van der Kley  
Art&Wise

## LISTE DE SOCIÉTÉS

### Toiture verte

[www.soltop.eu](http://www.soltop.eu)  
[www.bauder.de](http://www.bauder.de)

### Toiture plate

[www.renusol.com](http://www.renusol.com)  
[www.tritec-energy.com](http://www.tritec-energy.com)

### Intégration toiture

[3s-solarplus.ch](http://3s-solarplus.ch)  
[www.sunstyle.com](http://www.sunstyle.com)

### Façades

[megasol.ch/fast/](http://megasol.ch/fast/)

