



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral des transports OFT

PHOTOVOLTAÏQUE ET CONSOMMATION PROPRE DANS LES TRANSPORTS PUBLICS

Stratégie énergétique 2050 des transports publics – SETP 2050



SOMMAIRE

- 1 Avant-propos du directeur de l'OFT**
- 2 Introduction**
- 3 Le photovoltaïque : de l'énergie à revendre !**
- 4 Le potentiel du photovoltaïque et de la consommation propre**
- 7 Types d'installations PV dans les transports publics**
- 8 Financement, mesures d'encouragement et rentabilité**
- 12 Autorisations**
- 13 Les obstacles typiques et les solutions**
- 14 Pas à pas vers une installation PV privée**
- 15 Réalisation d'un projet PV**
- 16 Développement durable**
- 18 Quatorze exemples de projets**

Mentions légales

Éditeur :
Office fédéral des transports (OFT)
CH-3003 Berne
Première édition : septembre 2020
Version révisée : décembre 2022
info.energie2050@bav.admin.ch
www.bav.admin.ch/energie2050



La lecture de ce code QR donne accès à l'étude complète et à des informations supplémentaires sur le programme SETP.

Directeur du programme :
Tristan Chevroulet

Rédaction :
David Stickelberger, Swissolar, Association suisse des professionnels de l'énergie solaire, Zurich
Christof Bucher, Haute école spécialisée bernoise, Burgdorf

Les auteurs de ce guide sont seuls responsables de son contenu et de ses conclusions.

Mise en page :
eMarket, Berne

Des exemplaires supplémentaires de cette brochure peuvent être commandés gratuitement auprès de l'éditeur.

Versions linguistiques :
cette publication est également disponible en allemand.

Couverture :
Biho Song/EyeEm via Getty Images

AVANT-PROPOS DU DIRECTEUR DE L'OFT

Le remplacement des énergies fossiles, l'efficacité énergétique et la production indigène n'ont jamais autant été d'actualité. Dépendance internationale, risque de pénurie d'électricité, hausse des prix, changement climatique : la situation s'est dégradée ces dernières années. Pour faire face, les idées visant à renforcer les énergies alternatives se multiplient à tous les niveaux.

Une grande partie des trains suisses roulent à l'énergie hydroélectrique nationale depuis plus d'un siècle. Grâce à la décision alors visionnaire de renoncer au charbon importé, le rail est particulièrement respectueux du climat. De nombreux pans des transports publics restent néanmoins tributaires du courant domestique classique (p ex pour la technique ferroviaire ou l'éclairage des arrêts) et des énergies fossiles comme le diesel, encore largement utilisé pour les bus.

Tous les secteurs doivent poursuivre leurs efforts pour devenir plus durables. Or, en plus de l' « or bleu », nous avons une autre ressource renouvelable à portée de main : le soleil. Aujourd'hui, nous sommes en mesure de produire suffisamment d'énergie hydraulique et solaire pour alimenter l'ensemble des transports publics, y compris routiers.

L'énergie solaire peut être produite en de multiples endroits. Le présent guide montre le potentiel des installations photovoltaïques sur les surfaces de bâtiments, les toitures de quai et les ateliers des entreprises de transport public. Chaque parcelle de terrain compte : ainsi, un mètre carré de modules solaires suffit pour transporter une personne sur 2500 km en train pendant un an ; de même, avec l'énergie produite par des cellules photovoltaïques sur la surface de son propre parking, un bus électrique peut parcourir 10000 kilomètres.

Nous devons identifier et exploiter ce potentiel de manière systématique ! Cet objectif ambitieux est réalisable. Ce guide le montre par des exemples concrets et fournit des informations utiles aux entreprises de transport prêtes à relever le défi.



Peter Füglistaler,
directeur de l'Office fédéral
des transports

INTRODUCTION

Les transports captent un bon tiers de la consommation d'énergie de la Suisse.

À côté d'un grand nombre de petites améliorations majeures, deux mesures s'avèrent particulièrement efficaces pour des transports plus respectueux du climat, à savoir : la promotion en priorité les transports publics et l'électrification des moyens de transport.

Toutefois, cette dernière solution ne prend tout son sens que si l'électricité est elle-même produite à partir de sources à faibles émissions de CO₂.

Jusqu'à présent, seules un petit nombre d'entreprises de transport public (ETP) ont pu couvrir une part substantielle de leur consommation d'électricité avec leurs propres centrales. Aujourd'hui, avec le photovoltaïque (PV), toutes les autres ETP ont pour la première fois la possibilité de couvrir une bonne partie de leurs besoins en énergie avec leur propre production.

Toutefois, dans les conditions cadres actuelles, la rentabilité d'une installation PV n'est possible que si la part de consommation propre de l'électricité solaire au sein même du réseau est portée à son maximum.

Ce guide décrit les mesures permettant aux ETP de renforcer leur propre production d'énergie solaire. Il s'attarde en particulier sur les spécificités de ces entreprises de transport. Les principaux critères retenus sont, entre autres :

- **le potentiel photovoltaïque, le rendement énergétique et la consommation propre**
- **la procédure d'approbation des installations PV**
- **les possibilités de financement des installations PV**

La présente brochure s'adresse principalement aux décideurs des entreprises de transport et met en exergue les critères pertinents pour l'identification des projets rentables. Elle s'adresse également aux responsables de projets PV et livre un aperçu des principales étapes de projet.

Installation PV de 115 kW de la société Eniwa AG avec injection directe dans le réseau électrique sur le toit de la compagnie de bus Aarau AG
Photo : Peter Baertschiger, compagnie de bus Aarau AG



LE PHOTOVOLTAÏQUE : DE L'ÉNERGIE À REVENDE !

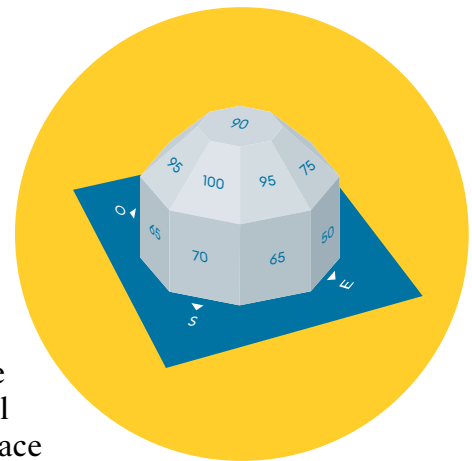
1 kW
= 5 m²

Une installation PV d'une puissance nominale d'1 kW occupe une surface d'environ 5 m² et produit 1000 kWh d'électricité par an.

Une surface de modules solaires d'1 m² couvre les besoins annuels en électricité d'environ 2500 voyageurs-kilomètres parcourus en train.



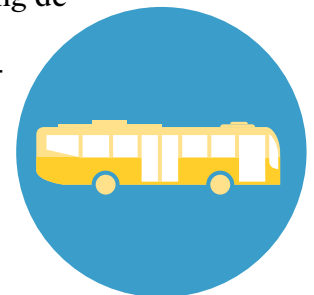
Toutes les surfaces de l'enveloppe du bâtiment sont à même de fournir de l'électricité. Le graphique indique le pourcentage du rendement maximal possible pour une surface donnée.



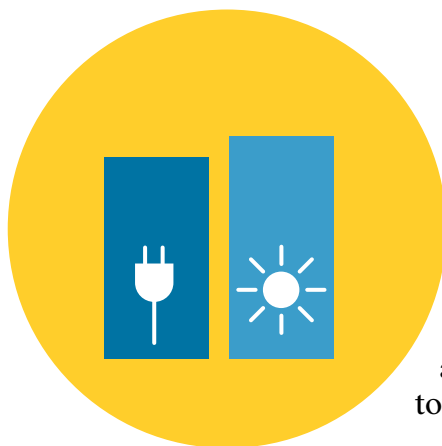
En règle générale, les modules PV affichent un rendement de 20% et une durée de vie de 30 à 40 ans.



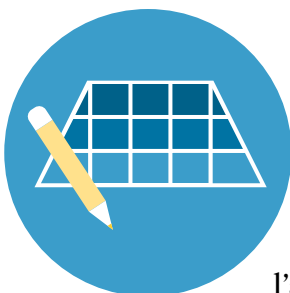
Avec une installation PV de la taille d'un parking de bus, un bus électrique peut parcourir 10 000 kilomètres.



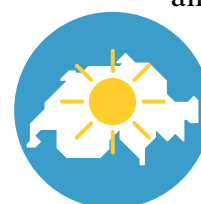
Le potentiel d'électricité solaire du parc immobilier suisse est de 67 TWh par an, soit 10% de plus que la consommation actuelle d'électricité de toute la Suisse.



Le photovoltaïque peut aussi être esthétique : couleurs, textures et formes sont à la discrétion de l'architecte.



Le rayonnement solaire annuel frappant la surface de la Suisse correspond à 200 fois l'énergie consommée dans le même temps dans tout le pays.



LE POTENTIEL DU PHOTOVOLTAÏQUE ET DE LA CONSOMMATION PROPRE

Le potentiel de la Suisse

Si tous les toits de Suisse dont les caractéristiques se prêtent bien, très bien, voire remarquablement bien au PV étaient recouverts de modules solaires, leur rendement énergétique annuel atteindrait environ 50 TWh. Les surfaces en façade qui s'y prêtent bien fourniraient 17 TWh supplémentaires. Cela représente une quantité de courant supérieure à la consommation actuelle de toute la Suisse.

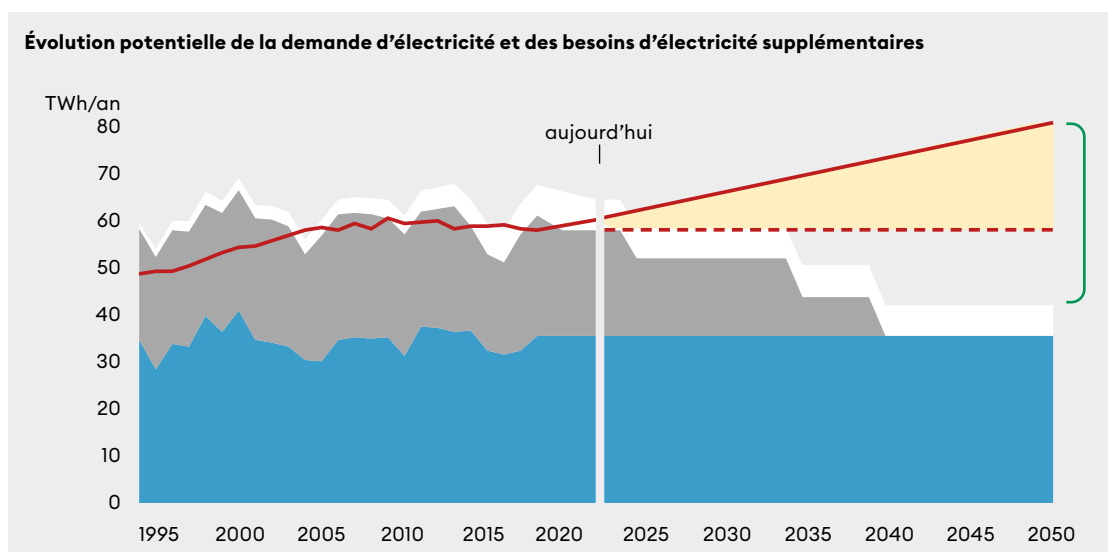
De quelle quantité d'électricité solaire la Suisse a-t-elle besoin ?

Afin de compenser l'abandon des centrales nucléaires et de répondre à la demande croissante d'électricité due à l'électrification de secteurs divers (notamment la mobilité et la chaleur), les besoins supplémentaires en électricité atteindront à terme 40 à 50 TWh par an. Étant donné que l'électricité solaire est actuellement la seule source d'énergie renouvelable pouvant être développée à cette échelle, une grande partie des toits et des façades appropriés devra être affectée au photovoltaïque.



Sur le site www.toitsolaire.ch, il est possible d'estimer le potentiel de chaque bâtiment. Exemple : bâtiment industriel des CFF, gare de Lancy-Pont-Rouge (GE)

- Inconnu
- Faible
- Moyen
- Bon
- Très bon
- Excellent



Produire de l'énergie sur ses propres toits

Les transports publics suisses sont très développés et nécessitent, malgré de nombreux efforts pour améliorer l'efficacité énergétique, des quantités d'énergie en conséquence. La consommation d'énergie cumulée de toutes les entreprises de transport s'élève à près de 3 TWh. À cela s'ajoutent 120 millions de litres de diesel, dont près de 95 % sont utilisés pour les bus et environ 0,35 TWh pour les remontées mécaniques. Si l'on souhaite à l'avenir exploiter l'ensemble des TP de manière neutre en CO₂, près de 3,5 TWh d'électricité seront nécessaires, y compris les quelque 2 TWh d'ores et déjà produits par les centrales hydrauliques des CFF – un chiffre qui représente déjà près de 60 % de la consommation totale d'énergie des entreprises de transport.

Produire l'électricité permettant de couvrir le besoin restant d'1,5 TWh avec de

l'énergie solaire nécessiterait une surface de modules PV d'environ 7 500 000 m², soit environ 1 m² par habitant de la Suisse.

À l'heure actuelle, les projections portant sur dix ETP de différents types – chemins de fer, entreprises de transport municipales, compagnies de bus et remontées mécaniques – indiquent que ces entreprises pourraient produire environ 20 à 30 % de leurs besoins en électricité sur leurs propres bâtiments. L'énergie du soleil est donc capable de contribuer de manière décisive au remplacement des énergies non renouvelables dans les transports publics.

Le tableau suivant indique les surfaces de modules PV nécessaires pour alimenter les bus et les trams en électricité solaire dans le bilan annuel. Les kilométrages indiqués correspondent à la moyenne suisse.

	Petits bus	Grands bus	Trams
Kilométrage annuel	50 000 km	50 000 km	40 000 km
Consommation électrique équivalente par an	50 000 kWh*	100 000 kWh*	200 000 kWh
Besoins de surface PV	300 m ²	600 m ²	1200 m ²
Taille moyenne du parking existant	60 m ²	120 m ²	180 m ²
Possibilité d'auto-apvisionnement du parking en électricité par le PV	20 %	20 %	15 %

* Valeur moyenne des projets pilotes extrapolée pour différentes tailles de bus.

Murs antibruit et surfaces libres

Une étude publiée par le Conseil fédéral en 2021 montre qu'il serait possible de produire 46 GWh d'électricité solaire par an sur 291 installations sur des murs antibruit ferroviaires, cumulant une puissance de 50 MW. Selon l'étude, le potentiel est encore nettement plus important avec

430 MW et des coûts de production d'environ 10 cts/kWh sur les surfaces libres autour des zones ferroviaires. Leur utilisation est facilitée par le nouvel article 32c de l'ordonnance fédérale sur l'aménagement du territoire. Les CFF développent déjà des projets sur de telles surfaces.

Analyse du potentiel solaire de différentes entreprises de transport

De la plus grande à la plus petite : presque toutes les ETP suisses peuvent produire de l'électricité solaire sur leurs propres toits et avec leurs propres équipements aux fins de consommation propre. Voici deux exemples caractéristiques :

CFF

Première entreprise de transports publics de Suisse, les CFF consomment près de 2,3 TWh d'électricité par an pour l'exploitation de leurs propres lignes ferroviaires ainsi que des lignes raccordées à leur réseau. Selon toitsolaire.ch et facade-au-soleil.ch, si la totalité des toits et façades des bâtiments des CFF (y compris les toitures des quais) étaient équipés d'installations PV, l'entreprise pourrait couvrir environ 20 à 30 % de ses besoins en électricité grâce à sa propre production d'énergie solaire.

Toutefois, une analyse approfondie du potentiel solaire révèle qu'une grande partie de ces surfaces sont situées sur des bâtiments classés ou qu'elles sont soumises à des restrictions opérationnelles rendant l'aménagement d'installations PV difficile. Les CFF ont défini les étapes suivantes afin de faire en sorte que le potentiel solaire puisse être exploité aussi efficacement que possible malgré lesdites restrictions :

- Chaque construction neuve et chaque rénovation (totale ou du toit) d'un bâtiment existant donne lieu à une étude de faisabilité en vue d'un possible aménagement d'une installation PV.
- Pour les objets standard tels que les bâtiments de technique ferroviaire ou les toitures de quai, la possibilité d'utilisation en série du PV est examinée au cas par cas et mise en œuvre le cas échéant. La standardisation des installations PV permet d'optimiser les coûts et de réaliser des installations économiquement avantageuses.
- Les autres bâtiments sont soumis à une étude de faisabilité reposant sur le potentiel solaire et, le cas échéant, sont recouverts d'installations PV étape par étape.

Avec l'installation aménagée en 2020 sur le poste de conversion de fréquence de Zurich-Seebach (voir page 24), les CFF ont fait un premier pas vers l'injection directe dans le réseau à 16,7 Hz. Pour en savoir plus sur ce type particulier de consommation propre, prière de se reporter à la page 12.

Remontées mécaniques de Brunni

Les remontées mécaniques de Brunni exploitent 12 bâtiments au total (dont 4 très petits bâtiments) dotés d'un potentiel PV d'environ 430 MWh par an selon toitsolaire.ch. Avec deux installations PV déjà installées, l'entreprise produit 130 MWh par an et couvre environ 15 % de ses propres besoins en électricité.

Il est prévu de développer pas à pas le potentiel solaire encore inexploité au fur et à mesure des opportunités d'investissement des remontées mécaniques de Brunni. Les prochains projets devraient concerner la toiture d'un convoyeur d'une longueur de 100 mètres, la station inférieure du téléphérique, un entrepôt ainsi qu'une toiture de parking (planifiée). En ce qui concerne les autres bâtiments, plus éloignés du réseau de distribution, la possibilité de développement du raccordement au réseau, de « bridage » d'éventuelles installations PV ou d'utilisation future d'un accumulateur devra être soumise à examen.

En haut : installation de 50 kW sur la toiture des quais de la gare centrale de Zurich.
Photo et projet : Energiebüro® AG, Zurich, Switzerland

En bas : installation PV sur le toit du Berglodge Restaurant Ristis, remontées mécaniques de Brunni
Photo : remontées mécaniques de Brunni (Brunni-Bahnen Engelberg AG)



TYPES D'INSTALLATIONS PV DANS LES TRANSPORTS PUBLICS

Pour les entreprises de transport public, les possibilités d'investissement et les procédures d'approbation divergent en fonction de la destination de chaque bâtiment et/ou infrastructure.

Infrastructures et surfaces libres

- Une étude de faisabilité PV doit être réalisée.
- L'aménagement d'une installation PV sur ou contre une installation ferroviaire est soumis à la loi sur les chemins de fer (LCdF).
- Des solutions standard pour des domaines d'activité divers peuvent réduire considérablement les coûts, rendant possible la réalisation de petites installations rentables, p. ex. sur et contre les abris pour vélos ou les abribus.
- Depuis le 1.7.2022, les installations hors des zones à bâtir sont également autorisées, pour autant qu'elles forment une unité visuelle avec les bâtiments ou les installations.

Premier mur antibruit solaire bifacial de Suisse, gare de Munisenges/Münsingen ; puissance : 12,8 kW
Photo : commune de Munisenges/Münsingen



Technique ferroviaire

- L'aménagement d'une installation PV nécessite généralement une procédure d'approbation des plans de l'OFT.
- Des solutions standard doivent être testées et développées.
- Pour en savoir plus sur l'injection directe dans le réseau à 16,7 Hz, prière de se reporter à la page 12.
- Dans le cadre d'un projet pilote, un bâtiment de technique ferroviaire (BTF) de la commune d'Immensee a été équipé d'une installation PV. Suite à cette expérience positive, les BTF des CFF seront désormais équipés en PV de façon standard.

Bâtiment de technique ferroviaire des CFF, Immensee
Photo : Christof Bucher, Basler & Hofmann AG



Immobilier

- Les installations PV s'imposent d'ores et déjà comme une évidence pour les bâtiments neufs et rénovés.
- Vaste champ d'applications : installations ajoutées, intégrées, en façade.
- Pas d'exigences particulières.
- Du fait que l'électricité ne profite pas aux infrastructures de transport, le financement par le fonds d'infrastructure ferroviaire (FIF) n'est pas réalisable.
- Un regroupement dans le cadre de la consommation propre (RCP) peut accroître encore la rentabilité d'un projet PV.

Immeuble d'habitation à Wetzikon avec installation PV de 80 kW sur le toit et les façades
Photo : Prix Solaire Suisse 2018



FINANCEMENT, MESURES D'ENCOURAGEMENT ET RENTABILITÉ

Une installation PV génère un certain nombre d'économies et rendements. Celles-ci sont présentées dans le tableau suivant.

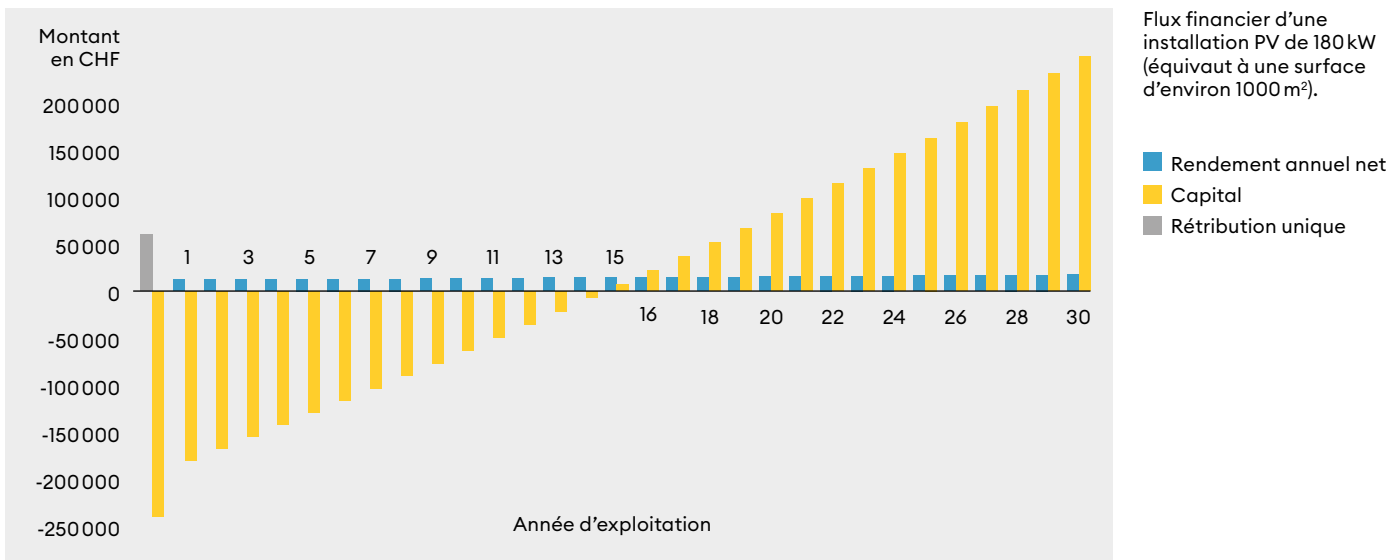
* Contribution : participation typique aux revenus et, partant, à la rentabilité

Contribution*		Remarque
Économies		
Consommation d'énergie	de 40 à 90%	La consommation propre permet de réduire les achats auprès du réseau public. Cet avantage constitue le facteur de rentabilité numéro un pour la quasi-totalité des installations PV.
Réduction des pics de puissance	de 0 à 25%	Applicable au « tarif de puissance » pour les charges et la demande de pointe au cours de la journée.
Substitution de l'enveloppe du bâtiment	de 0 à 80%	Applicable pour les systèmes de toiture et en particulier pour les systèmes de façade sur des façades de haute qualité. Effet secondaire : moindre réchauffement de l'enveloppe du bâtiment.
Économies fiscales	de 0 à 20%	En règle générale, cela ne concerne que les particuliers.
Rendement		
Vente d'électricité au réseau	de 0 à 40%	Souvent inférieur aux coûts de revient, important néanmoins.
Vente d'électricité sur le site	de 0 à 80%	Important pour les regroupements dans le cadre de la consommation propre.
Subvention / financement		
Rétribution unique (RU)	de 20 à 30%	La contribution aux investissements couvre environ 25 % des coûts. Seule mesure d'encouragement directe à l'échelle nationale, également accessible aux ETP. Installations >150 kW sans consommation propre : mises aux enchères, voir p. 10
Contributions directes	de 0 à 20%	Par certaines communes ou institutions au cas par cas.
Contributions de l'OFT	de 0 à 40%	Contribution à des projets de recherche à hauteur de 40% maximum.
Fonds d'infrastructure ferroviaire/conventions de prestations	Non quantifiable	Un financement par le fonds d'infrastructure ferroviaire (FIF) est possible si l'installation sert principalement (> 50%) aux besoins propres et si elle est installée sur un bien immobilier selon l'art. 62, al. 1, LCdF ou sur une surface du GI. Un investissement supplémentaire de la Confédération est alors exclu.LCdF.
Indemnités TRV	Non quantifiable	Les coûts consécutifs aux investissements dans des installations PV (p. ex. amortissements) peuvent être indemnisés dans le cadre du TRV si l'installation sert aux besoins propres du secteur TRV et si elle est installée sur des surfaces du secteur.
Incitations et prescriptions		
Lois énergétiques cantonales	Non quantifiable	Obligation d'autoproduction d'électricité pour les constructions nouvelles.
Gros consommateurs	Non quantifiable	Les installations PV constituent des mesures prises en compte dans l'atteinte des objectifs fixés pour les gros consommateurs.
Objectifs environnementaux	Non quantifiable	Mesures prises en compte dans la réalisation des objectifs environnementaux.
Label des bâtiments	Non quantifiable	Mesures prises en compte pour l'obtention d'un label des bâtiments.
Impact publicitaire	Non quantifiable	L'énergie solaire a un impact positif sur les clients.

Durée d'amortissement : de 10 à 25 ans

Une installation PV est amortie généralement au bout de 10 à 25 ans d'exploitation. Les modules PV et les onduleurs ne représentent souvent qu'une faible partie des coûts, en particulier pour les petites installations, de sorte qu'une durée d'amortissement nettement plus courte est envisageable pour les projets dont la mise en œuvre est aisée ou offrant des synergies.

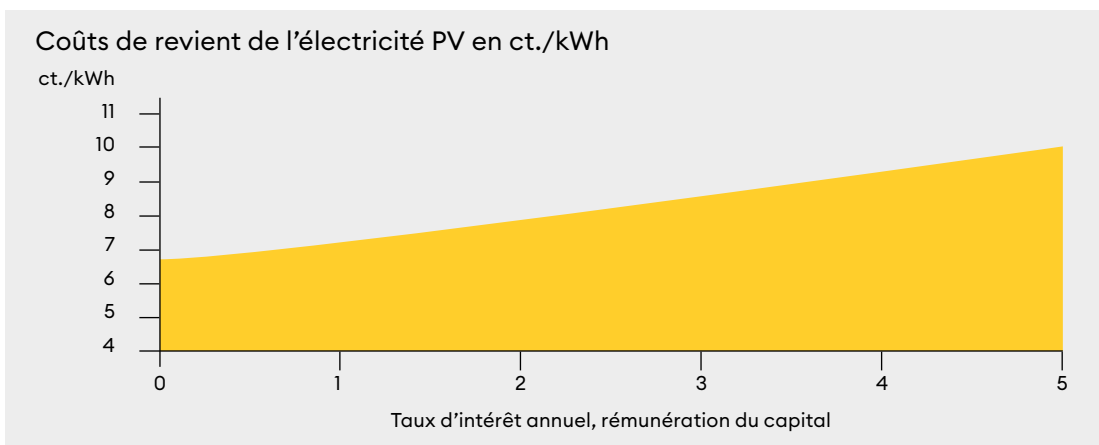
Au terme de la durée d'amortissement, les installations PV peuvent généralement continuer à être exploitées pendant de nombreuses années et devenir un investissement rentable jusqu'à la fin de leur durée de vie technique. L'illustration ci-dessous montre le flux financier d'une installation PV de 180 kW.



Les valeurs de comparaison utilisées lors d'investissements dans les installations solaires sont, outre le rendement, les coûts de revient de l'électricité. Chacun de ces paramètres est calculé sur la base de totaux annuels comme suit :

$$\text{Coûts de revient de l'électricité} = \frac{\text{Coût d'investissement} + \text{coûts d'exploitation}}{\text{Production d'électricité}}$$

Les valeurs typiques prises en compte pour l'estimation des coûts d'exploitation sont d'environ 2 à 3 centimes par kWh et incluent le remplacement des onduleurs dont la durée de vie avoisine les 15 ans. Une méthode pratique pour le calcul des coûts du capital est la méthode des annuités, qui combine la rémunération du capital investi et les remboursements. La figure ci-dessous illustre l'exemple d'une installation PV de taille conséquente, dont les coûts de revient de l'électricité oscillent entre 6,5 et 10 ct./kWh en fonction de la rémunération du capital.



Impact de la rémunération du capital à l'exemple d'une installation PV pour un coût d'investissement de CHF 1100.- par kW et un rendement annuel de 950 kWh pour 1 kW de puissance nominale installée, et avec des coûts d'exploitation de 2,5 ct./kWh.

Soutien financier

Au niveau fédéral, les installations PV sont subventionnées par le biais de la rétribution unique, laquelle couvre environ 25% des coûts d'investissement. Tous les types d'installations PV d'entreprises de TP sont éligibles, à l'exception des installations financées par le FIF. Les demandes doivent être adressées à Pronovo, l'organe d'exécution des programmes d'encouragement. Les coordonnées des interlocuteurs compétents figurent à la page 29.

Le financement d'une installation PV par le FIF est possible si celle-ci sert principalement à la production pour les besoins propres en électricité industrielle et/ou domestique. L'installation doit dès lors être aménagée sur/contre un bien immobilier ou une parcelle de terrain de l'infrastructure selon l'art. 62, al. 1 de la loi sur les chemins de fer (LCdF). En vertu de l'ordonnance sur les concessions, la planification et le financement de l'infrastructure ferroviaire OCPF, les installations visées à l'art. 62, al. 2

LCdF ne sont pas couvertes par les mesures de financement. Cela concerne notamment les installations PV destinées à la production de courant de traction ou à des fins de commercialisation.

Nouveau : Aide plus élevée pour les installations sans autoconsommation

A partir du 1.1.2023, les installations PV qui injectent entièrement l'électricité produite dans le réseau électrique public recevront une rétribution unique environ deux fois plus élevée que les installations avec consommation propre. C'est toujours l'organisme de promotion Pronovo qui est compétent. A partir d'une taille d'installation de 150 kW, les contributions de soutien sont attribuées par le biais d'une vente aux enchères.

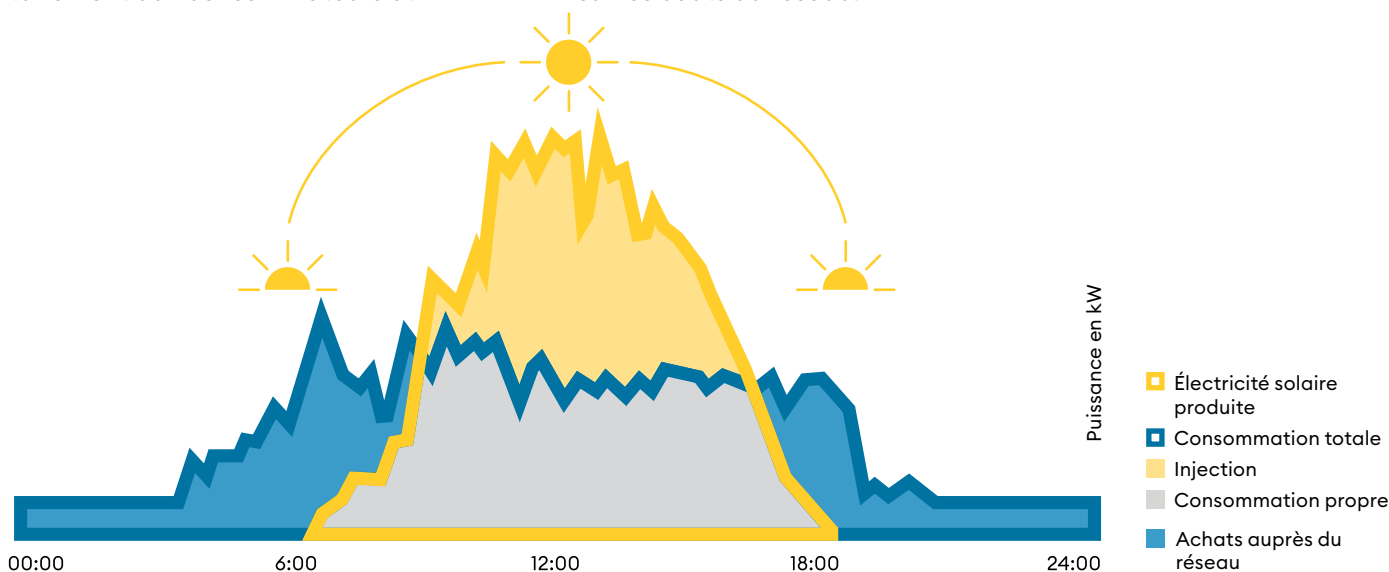
La consommation propre

La consommation propre désigne l'électricité produite et consommée sur un même site. Avec les installations PV, la consommation propre est facile à mettre en place et est une clé décisive du succès économique dans de nombreux cas.

La consommation propre fonctionne aussi bien pour les grandes que pour les petites installations avec des composants standard éprouvés. Sur le plan technique, un raccordement au tableau de distribution électrique existant auquel les consommateurs sont également raccordés suffit. Avec cette configuration, on est assuré que l'électricité autoproduite est fournie prioritairement aux consommateurs et

que seuls les excédents sont injectés, le cas échéant, dans le réseau public. Les gestionnaires de réseau sont tenus d'acheter ce courant, mais la rémunération est très variable et à l'heure actuelle souvent inférieure aux coûts de revient (voir www.pvtarif.ch).

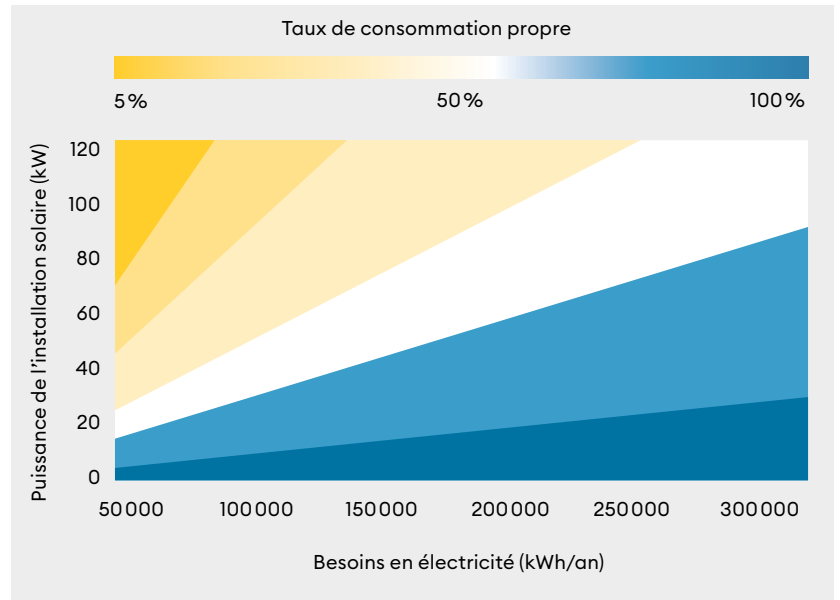
Grâce à une maîtrise ciblée des charges et, éventuellement, à l'utilisation d'une batterie de stockage, il est possible d'accroître la consommation propre de manière substantielle. Pour les gros consommateurs, cette solution peut être combinée avec la limitation de la puissance de référence avec, à la clé, des économies sur les coûts du réseau.



Dimensionnement de l'installation

Étant donné que les objectifs de la Stratégie énergétique 2050 ne pourront être atteints que si toutes les surfaces de toiture « bien adaptées » sont recouvertes d'installations PV, celles-ci doivent toujours être dimensionnées aussi grandes que possible. Le schéma ci-contre indique la part de consommation propre en fonction des besoins en électricité et de la taille de l'installation solaire (1 kW correspond à environ 5 m²). Par 100 %, on entend que la totalité de l'électricité solaire est consommée directement dans le bâtiment, tandis que par 0 %, on entend qu'elle est entièrement injectée dans le réseau.

Des outils permettant d'estimer facilement la consommation propre dans certaines situations typiques sont disponibles ici :
 → www.eigenverbrauchsrechner.ch
 → www.quick-check.ch



Part de consommation propre en fonction de la part d'électricité solaire pour différents profils de charge en moyenne annuelle.

Vente d'électricité solaire

L'électricité solaire peut également être vendue à des tiers au moyen de diverses modalités. Un aperçu complet des modèles de commercialisation est disponible dans le rapport de l'OFEN «Vermarktungsmodelle für Solarstrom» (2021). Il convient de noter que les entreprises de transports publics ne peuvent pas en principe pas utiliser les moyens financiers du fonds d'infrastructure ferroviaire pour construire des installations PV qui ne servent pas principalement à leur propre approvisionnement. Les excédents peuvent toutefois être vendus.

De nombreux gestionnaires de réseau proposent la possibilité de passer par un groupe bilan. Grâce à ces constructions contractuelles, l'électricité photovoltaïque peut être transférée vers un autre endroit où le GI peut la consommer lui-même. Cela permet d'augmenter la part de consommation propre.

Dans le cas d'un « regroupement dans le cadre de la consommation propre » (RCP),

l'électricité solaire non utilisée au sein même de l'entreprise est vendue aux occupants (locataires ou propriétaires) du même immeuble ou d'un immeuble du voisinage. Dans de nombreux cas, cela permet d'accroître considérablement la part de consommation propre, car il n'est pas rare que les différents profils de consommation se chevauchent et se complètent.

Contracting

Le contracting photovoltaïque consiste à louer son toit à un entrepreneur et à lui confier ainsi la construction et la maintenance de son installation PV, voire la responsabilité de l'investissement. L'entrepreneur revend généralement l'électricité produite au propriétaire à un prix fixé à l'avance. En règle générale, le contrat d'utilisation du toit est consigné dans le registre foncier. A contrario, une ETP peut aussi louer des surfaces appartenant à un tiers afin de produire de l'électricité pour couvrir ses propres besoins.

1 Consommation propre
Lorsque le soleil brille, l'électricité solaire est consommée directement dans le bâtiment. Tous les résidents en profitent.

2 Injection
L'électricité solaire excédentaire est injectée dans le réseau public et rémunérée par le fournisseur d'énergie ou un autre acheteur.

3 Achats auprès du réseau
Le courant nécessaire en sus de l'électricité solaire produite sur place est achetée auprès du fournisseur d'énergie.



AUTORISATIONS

Procédure d'approbation des plans du droit ferroviaire

Une approbation des plans de l'OFT est requise pour les installations PV situées contre ou sur des équipements existants des chemins de fer, des trolleybus ainsi que des remontées mécaniques et des compagnies de navigation sous concession fédérale. Cette modalité s'applique indépendamment du fait que le requérant soit l'entreprise ferroviaire elle-même (art. 18, al. 1 LCdF) ou un tiers (art. 18, al. 1^{bis} LCdF). Avec l'approbation des plans, l'OFT délivre toutes les autorisations requises par le droit fédéral ; aucune autorisation cantonale n'est requise. Ce principe vaut pour tous les types d'installations susmentionnés.

Les installations PV situées sur des bâtiments ferroviaires existants peuvent généralement être approuvées dans le cadre d'une procédure simplifiée au sens de l'art. 18i, al. 1 LCdF. Les installations PV intégrées à un projet de construction neuve d'une installation de chemin de fer, de remontée mécanique, de trolleybus ou de navigation sont (co-)approuvées dans le cadre d'une procédure fédérale d'approbation des plans.

L'installation PV d'un chemin de fer (art. 18, al. 1 LCdF) ou d'un tiers aménagée contre ou sur une installation ferroviaire existante (art. 18, al. 1^{bis} LCdF) est réputée installation ferroviaire. Si l'installation PV est soumise à l'ordonnance sur les installations à basse tension (OIBT) et sous réserve qu'elle n'affecte pas les intérêts dignes de protection relevant de l'aménagement du territoire, de la protection de l'environnement, de la conservation de la nature et du paysage ou de tiers, et qu'elle ne requière pas d'autorisations en vertu d'autres dispositions du droit fédéral (art. 1a, al. 1 de l'ordonnance sur la procédure d'approbation des plans des installations ferroviaires OPAPIF), alors elle est considérée comme une installation ferroviaire non soumise à autorisation au sens de la lettre p de l'annexe de l'OPAPIF. Une approbation des plans de l'OFT est requise en cas de doute ainsi que pour toutes les installations PV non régies par l'OIBT ou aménagées contre ou sur des installations ferroviaires existantes. Celle-ci est généralement accordée dans le cadre d'une procédure simplifiée (art. 18i, al. 1 LCdF).

Injection directe de courant de traction

L'injection directe de courant de traction constitue un cas particulier. Le réseau ferroviaire à 16,7 Hz relève de la compétence des CFF. La première installation pilote de ce type en Suisse est en service depuis le printemps 2020 (voir page 24). À l'avenir, les CFF souhaitent également permettre à des tiers d'alimenter directement le réseau de courant de traction avec leur électricité issue de leurs propres installations PV. Cette alternative peut s'avérer séduisante en cas de faibles niveaux de besoins propres en courant de 50 Hz ou d'infrastructures 50 Hz insuffisantes. Un contrat de fourniture portant sur l'approvisionnement en énergie doit être conclu avec CFF Énergie.

La question de l'injection de courant continu n'est pas close, les premiers retours d'expérience disponibles concernent la RBS (Berne), les CJ (Jura) et les TPG (Genève).

Une procédure d'approbation des plans (PAP) de l'OFT est obligatoire pour le raccordement au réseau de courant de traction.

Procédure relevant de la législation communale

Les installations PV qui n'entrent pas dans le champ de l'art. 18 LCdF sont soumises à la procédure d'autorisation de construire de la commune d'implantation. Aux termes de l'art. 18a de la loi fédérale sur l'aménagement du territoire (LAT), les installations PV « suffisamment adaptées » ne nécessitent qu'une procédure d'annonce. Cette dérogation ne concerne pas les zones protégées de même que les biens à protéger. La loi stipule par ailleurs que les intérêts liés à l'utilisation de l'énergie solaire sur des constructions existantes ou nouvelles l'emportent en principe sur les considérations esthétiques.

Outre l'autorisation de construire municipale et la procédure d'annonce, une autorisation de raccordement du gestionnaire du réseau de distribution local est requise, de même qu'une procédure d'approbation des plans de l'Inspection fédérale des installations à courant fort (ESTI) pour les installations d'une puissance de 30 kW et plus.

LES OBSTACLES TYPIQUES ET LES SOLUTIONS

Consommation propre

Les toitures des dépôts de véhicules, peu gourmandes en électricité, se prêtent généralement très bien aux IPV. Toutefois, grâce à l'arsenal législatif actuel, l'électricité solaire peut également être vendue à des consommateurs du voisinage dans le cadre d'un « regroupement dans le cadre de la consommation propre » (RCP). En combinaison avec le courant de traction, il est possible d'atteindre une part de consommation propre très élevée. Bien souvent, les coûts de revient de l'électricité des grandes installations PV se situent d'ores et déjà dans la fourchette des prix d'achat facturés aux gros consommateurs et des tarifs de rachat des gestionnaires de réseaux. L'injection dans le réseau peut donc également apporter une contribution opportune à la rentabilité.

Durée d'utilisation attendue des bâtiments

Les installations PV ont une durée de vie utile largement supérieure à 25 ans, tandis que celle des bâtiments peut s'avérer plus courte, en particulier lorsqu'ils nécessitent des travaux de rénovation. Une installation PV (IPV) est modulaire, financièrement avantageuse et généralement facile à installer : le plus souvent, un démontage ponctuel unique suivi d'un remontage n'affecte pas la rentabilité du projet.

Monuments historiques

De nombreuses entreprises de transport affichent une longue histoire et possèdent un nombre de bâtiments d'intérêt historique supérieur à la moyenne. Comme les modules PV sont désormais déclinés dans différentes couleurs, formes et structures de surface, il existe pour la plupart des bâtiments historiques des solutions qui satisfont aux exigences en matière de protection des monuments. La rénovation d'une toiture ou d'une façade combinée à l'aménagement d'une installation PV ne coûte bien souvent pas plus cher qu'une rénovation sans installation PV.

Rentabilité

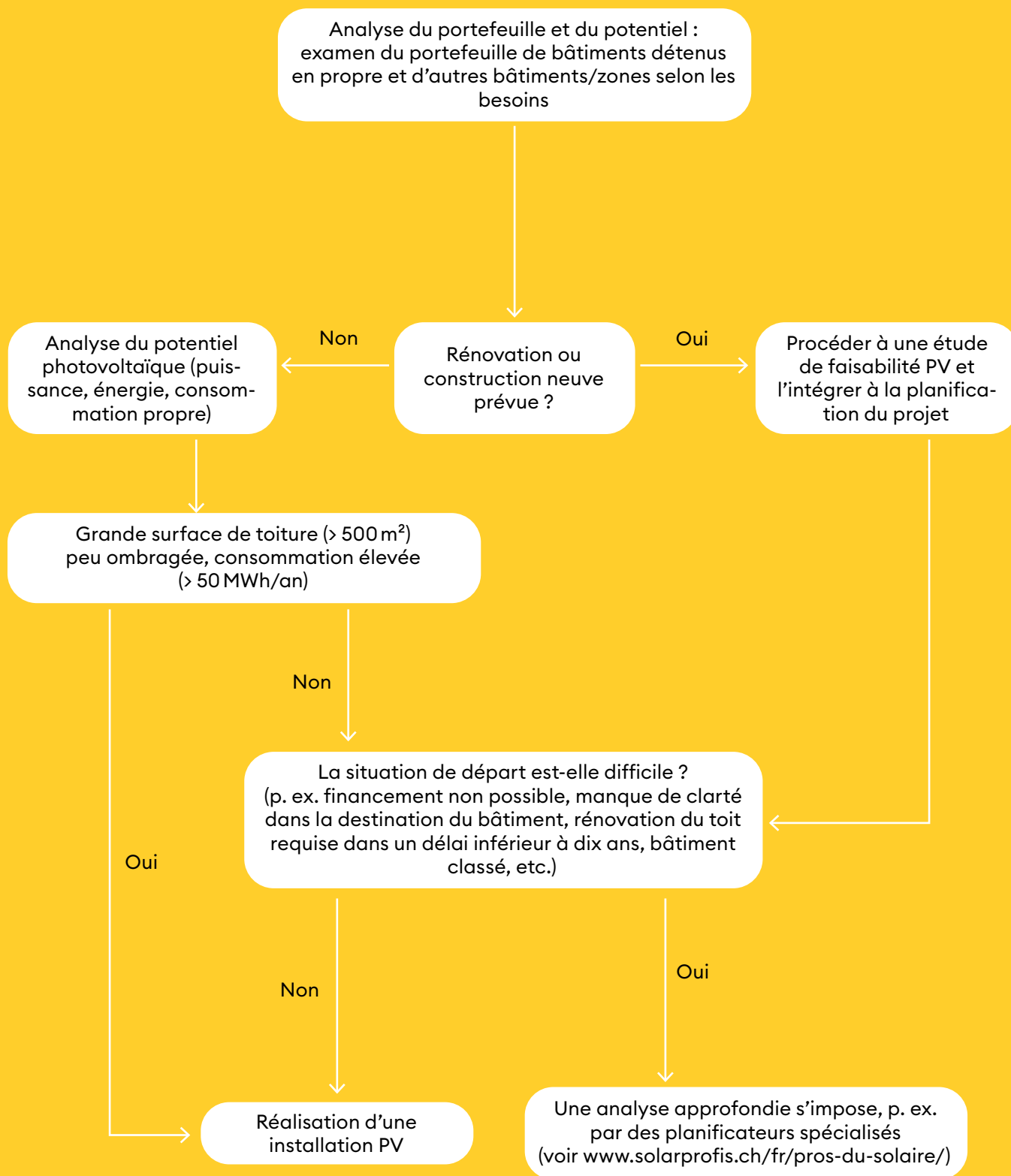
Loin d'être un facteur de coût, le PV est un investissement qui produit des intérêts. La durée d'amortissement, de 10 à 25 ans, est pratiquement toujours plus courte que la durée de vie d'une installation PV (voir « Durée d'amortissement »). Dans la mesure où l'installation est située sur un bien immobilier des transports publics (dépôt, atelier, gare, bâtiment administratif) et sert à produire ses propres besoins en électricité industrielle et/ou domestique, les coûts ainsi engendrés (notamment l'amortissement des installations) peuvent être intégrés dans les offres soumises par les ETP à l'OFT ou aux cantons, en concertation avec les acheteurs respectifs, même si le prix de ladite électricité est supérieur à celui de l'électricité achetée à l'extérieur.

L'électricité excédentaire peut être vendue. Toutefois, les tarifs de rachat du gestionnaire du réseau de distribution local représentent un facteur d'incertitude dans le calcul de rentabilité. Avec un part de consommation propre élevée, ce paramètre peut être réduit. De plus, à partir de 2023, il y aura une rétribution unique plus élevée pour les installations sans consommation propre. Si l'investissement et/ou l'exploitation de l'installation ne peut être pris en charge par l'entreprise de transport, le contracting est une option à envisager (voir page 11).

Des surfaces de toiture insuffisantes ou inadaptées

Les raisons possibles sont les suivantes : problème de statique, présence de superstructures, etc. Dans ces cas ou dans d'autres, l'utilisation du PV sur les façades peut être une alternative. Ces installations peuvent même s'avérer moins onéreuses que celles aménagées en toiture, dans la mesure où il est possible d'épargner la façade traditionnelle. Les installations en façade orientées sud assurent par ailleurs une production d'électricité uniforme tout au long de l'année. Un placement contre des murs antibruit, sur des talus ou sur d'autres espaces libres peut également constituer une alternative.

PAS À PAS VERS UNE INSTALLATION PV PRIVÉE



RÉALISATION D'UN PROJET PV



DÉVELOPPEMENT DURABLE

Déchets et recyclage **Matières premières**

La quasi-totalité des fabricants et importateurs suisses prélèvent sur une base volontaire une taxe de recyclage anticipée sur les modules PV. Ces ressources sont administrées par la fondation SENS eRecycling et sont mises à disposition lorsque les modules doivent être recyclés en bonne et due forme au terme de leur cycle de vie.

La plupart des installations PV de la Suisse sont construites avec des modules PV composés de cellules de silicium cristallin. Les IPV sont principalement constituées de verre, d'aluminium et de matière plastique. Le silicium est le deuxième élément le plus présent dans la croûte terrestre. Les matériaux utilisés sont disponibles en quantité suffisante. Compte tenu de la forte dépendance vis-à-vis des producteurs chinois, de gros efforts sont actuellement déployés pour reconstruire une industrie européenne du photovoltaïque.

Photos : unsplash.com



Bilan énergétique et climatique

En Suisse, l'énergie primaire nécessaire à la production, au transport, à l'installation et au démantèlement d'une IPV est compensée au bout de deux à trois ans. Grâce à la production nationale d'électricité solaire, la Suisse doit importer moins d'électricité. La production d'électricité européenne est beaucoup plus émettrice de CO₂ que l'électricité solaire suisse. Les installations PV sont non seulement déclinables à grande échelle sur le territoire suisse, mais elles affichent aussi le meilleur bilan écologique parmi tous les types de centrale électrique : un bilan en constante amélioration du fait de l'optimisation des rendements énergétiques et des gains d'énergie dans la production des modules.



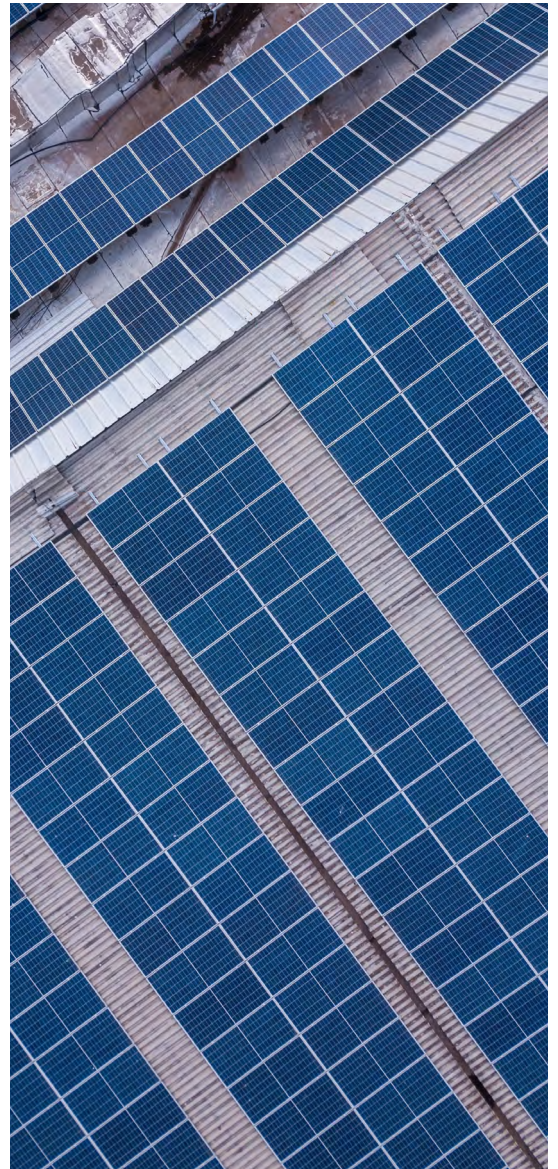
Production et transport

Si la production mondiale de modules est aujourd'hui concentrée en Chine et dans d'autres pays d'Asie orientale, un certain nombre de fabricants européens et suisses répondent toujours présents. Ces derniers se sont spécialisés dans les solutions d'intégration aux bâtiments. Le respect des normes environnementales et sociales rigoureuses est désormais une évidence pour les entreprises d'envergure mondiale. L'énergie nécessaire à la production de cellules PV est celle qui a le plus fort impact environnemental. L'impact du transport des modules sur le bilan environnemental est, quant à lui, relativement faible.



Exploitation

La phase d'exploitation d'une installation PV n'a qu'un impact marginal sur l'environnement. La durée de vie des modules est largement supérieure à 25 ans ; durant cette période, ces derniers produisent environ dix fois plus d'énergie que celle nécessaire à leur fabrication. Les installations PV sont en principe autonettoyantes et ne requièrent un nettoyage que dans des cas particuliers. Les onduleurs sont remplacés en général une seule fois au cours du cycle de vie de l'installation.



QUATORZE EXEMPLES DE PROJETS



Station « Trockener Steg »,
Zermatt Bergbahnen AG
Photo : Zermatt
Bergbahnen AG

¹ Dépôt de trams de Kalkbreite, Transports publics zurichoïses (VBZ)

« Les toits de nos dépôts de trams sont parmi les plus vastes de la ville de Zurich. L'installation PV est une contribution aux efforts de la ville de Zurich en vue de la Société à 2000 watts. »

Urs Hunziker, directeur Facility Management, Ville de Zurich, Transports publics zurichoïses

Après plusieurs décennies d'utilisation intensive, l'enveloppe du bâtiment et la technique du bâtiment du dépôt de trams de Kalkbreite ont dû subir une rénovation complète. Dans le cadre de la rénovation, l'aménagement d'une installation PV s'est imposé comme une évidence

pour les VBZ, étant donné qu'il s'agit d'un des plus gros consommateurs d'électricité de la ville de Zurich. Cependant, comme la consommation propre du dépôt de tramways n'est pas très élevée, le courant fourni sert également de courant de traction pour les tramways. Cela permet de garantir une part de consommation propre de près de 100 %. Tous les dépôts de trams des VBZ sont progressivement équipés d'installations PV. Leur surveillance s'effectue via un portail unique.



Descriptif du projet

- Puissance de l'IPV : 470 kW
- Type d'IPV : installation sur toit végétalisé, relevée
- Coût : env. 2% du budget global de la rénovation du bâtiment
- Financement : budget de rénovation
- Destination du courant produit : consommation propre, traction des trams
- Réalisation : 2018/2019
- Spécificités : rénovation du dépôt de trams ; construction de l'installation PV dans le cadre du projet de rénovation ; prise en compte de la protection des monuments

Photos : Christof Bucher, Basler & Hofmann AG



2 Station supérieure du téléphérique du Petit Cervin, Zermatt VS (Zermatt Bergbahnen)

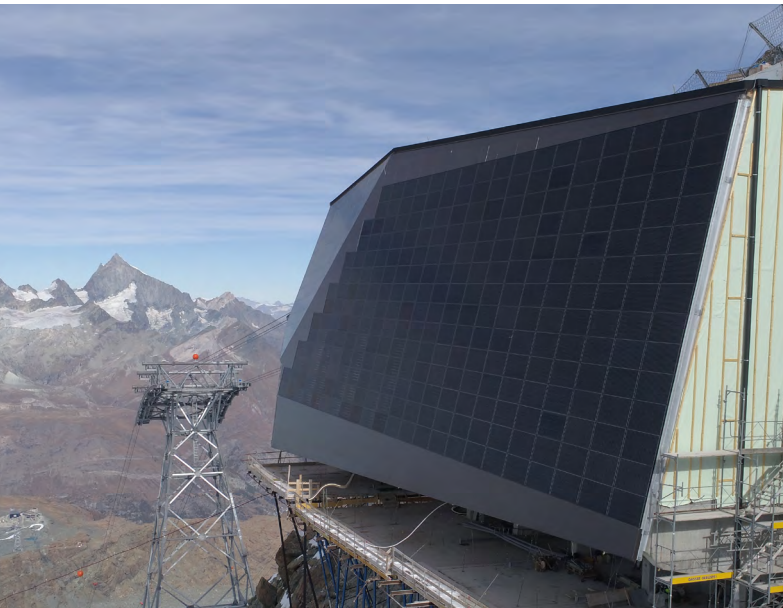


Photo : Zermatt Bergbahnen AG

Au départ de Trockener Steg, la plus haute télécabine à trois câbles du monde vous emmène au sommet du Petit Cervin à 3883 m. Depuis la plate-forme du Matterhorn Glacier Paradise, la vue

s'ouvre sur pas moins de 38 quatre mille et 14 glaciers.

La station inférieure, située à 2923 mètres d'altitude, a été équipée d'une façade PV translucide (136 kW) dès la première phase, en 2018. Le système ayant fait ses preuves, il a été dupliqué sur la station supérieure, perchée à 3821 mètres d'altitude, ce qui en fait l'une des installations photovoltaïques les plus hautes d'Europe.

L'installation solaire en façade fournit de l'électricité de manière fiable, tout particulièrement l'hiver. Tout risque d'ombrage dû aux salissures et à la neige est exclu. De plus, la surface verticale bénéficie d'une orientation optimale lorsque le soleil est bas.

Descriptif du projet

- Puissance de l'IPV : 77 kW
- Rendement énergétique : 120 000 kWh/an
- Destination du courant produit : couverture de près de 17% des besoins en courant de traction
- Coût : env. CHF 350 000.-
- Propriétaire, financement et exploitation : Elektrizitätswerk Zermatt AG
- Réalisation : 2018
- Spécificités : modules semi-transparents ultra-robustes (épaisseur du verre : 3,2 mm + 6 mm)

3 Bâtiment de technique ferroviaire, Camorino TI (AlpTransit Gotthard SA/CFF)



Photo : Evolve SA

Le bâtiment construit par AlpTransit Gotthard SA pour les CFF au niveau du portail nord du tunnel de base du Ceneri a

été mis à la disposition de la commune de Camorino pour la construction d'une installation PV en toiture. En raison de la présence d'une superstructure, au milieu du bâtiment, les modules PV ont été relevés sur toute la surface, à l'instar d'un toit en pente. Les superstructures du bâtiment sont ainsi réduites au minimum.

Descriptif du projet

- Puissance nominale : 134 kW
- Rendement énergétique : env. 130 000 kWh/an
- Type d'IPV : construction spéciale sur toiture gravier
- Coût : CHF 300 000.-
- Financement : Azienda Multiservizi Bellinzona avec la participation d'AlpTransit Gotthard SA
- Utilisation actuelle : injection dans le réseau
- Réalisation : 2019/2020

4 Remplacement du bâtiment de la gare, Reichenbach BE (BLS)



Photo: Schweizer Solarpreis 2021

Descriptif du projet

- Puissance PVA : 55 kW
- Production d'énergie : 53 300 kWh/an
- Utilisation de l'électricité : couvre 57% des besoins énergétiques
- Réalisation : 2019
- Particulier : Combinaison d'une tradition de construction centenaire et d'une technique PV contemporaine intégrée sur toute la surface du bâtiment

Le bâtiment de la gare appartenant aux BLS est un exemple de référence pour la façon dont la tradition et la modernité se complètent. Le nouveau bâtiment associe délibérément une construction en bardeaux de mélèze naturels et fendus à la main avec une technique solaire contemporaine. Le bâtiment dispose d'une installation photovoltaïque parfaitement intégrée. Les modules produisent 53 300 kWh par an et génèrent suffisamment d'électricité pour couvrir 57% des besoins énergétiques totaux de 93 700 kWh/an sans émettre de CO₂. La forte consommation énergétique est due à des locataires qui consomment beaucoup d'énergie, une épicerie et un snack-bar.

5 Dépôt de la Jonction, Genève GE (Transports publics genevois TPG)



Photo : Pierre Albouy

Descriptif du projet

- Puissance de l'IPV : 335 kW
- Rendement énergétique : 220 000 kWh/an
- Type d'IPV : toit avec membrane en plastique
- Financement : contracting avec Windwatt SA ; l'électricité solaire est légèrement plus chère que l'électricité du réseau
- Destination du courant produit : réseau du courant de traction des TGP (injection directe dans la sous-station de Plainpalais)
- Réalisation : 1998/2019
- Spécificité : injection DC pour les trams et les trolleybus

Depuis 1998, la Société des transports publics genevois (TPG) exploite une centrale PV sur la toiture de son dépôt de La Jonction, agrandi en 2019. Une autre installation est située sur le toit du dépôt de Bachet-de-Pesay, et une autre doit être construite sur le toit du dépôt En Chardon avec le concours du fournisseur d'électricité local SIG.

Les modules PV sont directement raccordés au réseau de trams et de trolleybus, sans onduleur. Bien qu'ils ne soient pas toujours exploités à leur puissance optimale, l'électricité solaire produite alimente directement les caténaires sans pertes de conversion.

6 Toitures de quai, divers sites dans le canton de Fribourg (Transports Publics Fribourgeois TPF)

« La recherche de partenaires pour la mise en œuvre du projet dans les conditions imposées par la RPC (liste d'attente) a été particulièrement laborieuse. La rétribution unique nous a été d'une grande aide. »

Julien Horner, chef de projet, TPF

En collaboration avec un entrepreneur, les Transports Publics Fribourgeois (TPF) ont aménagé des installations photovoltaïques sur des toitures de quai sur les sites de Belfaux, Villars-les-Moines, Courtepin et Pensier. Une

procédure interne a été lancée dans le but de réaliser des projets similaires sur un grand nombre de nouvelles toitures de quai dont la construction est prévue dans les années à venir. La taille de l'installation PV sera adaptée au potentiel de consommation propre de chaque gare. L'entreprise a réalisé d'autres installations PV sur différents sites de dépôt de bus (Givisiez, Romont).

Profil du projet

(exemple de la gare de Belfaux)

- Puissance de l'IPV : 35 kW
- Rendement énergétique : env. 35 000 kWh/an
- Type d'IPV : toiture plate, structure légèrement relevée
- Financement : investisseurs externes dans le cadre du contracting
- Destination du courant produit : consommation propre des TPF ; injection du courant excédentaire dans le réseau électrique local
- Réalisation : 2018

Gare de Belfaux (FR)
Photo : Julien Horner, TPF



7 Batterie au sel pour consommation propre, transformateur de Holligen BE (BLS)



Photo : Pascal Münger, BLS AG

Une installation PV est installée sur le toit plat du bâtiment technique. Elle permet de fournir l'électricité nécessaire pour les équipements techniques à l'intérieur du bâtiment. La batterie au sel assure une alimentation électrique sans interruption (ASI) pendant une demi-heure après une coupure de courant. Avantage de la solution retenue : un seul système de batterie de stockage est nécessaire pour les deux fonctions « alimentation du transformateur » et « installation ASI ». BLS est la première entreprise ferroviaire à opter pour le stockage de l'électricité dans une batterie au sel.

Descriptif du projet

- Puissance de l'IPV : 22,5 kW
- Type d'IPV : installation ajoutée sur un toit plat ; l'installation PV alimente directement un système de stockage ; le système de stockage est raccordé au réseau
- Coût : env. CHF 44 000.-
- Financement : encouragement de projets par le biais du programme d'encouragement SETP 2050
- Destination du courant produit : équipements techniques à l'intérieur du bâtiment
- Réalisation : 2019
- Spécificité : batterie au sel de l'entreprise suisse Innoenergy

8 Bâtiment de technique ferroviaire, Le Noirmont JU (Chemins de Fer du Jura)



Photo : Société des Forces Électriques de La Goule SA

L'installation PV du bâtiment de technique ferroviaire des Chemins de Fer du Jura du Noirmont couvre principalement les besoins propres de la technique ferroviaire. Étant donné la présence dans le même bâtiment d'une station de redressement pour l'injection du courant de traction (1500 volts DC), l'électricité excédentaire est utilisée comme courant de traction sans logique de contrôle supplémentaire.

D'autres installations PV sont prévues, notamment une à Saignelégier pour la production de courant de traction.

Descriptif du projet

- Puissance nominale : 16,8 kW
- Production annuelle : env. 16 000 kWh/an
- Type d'IPV : toit plat orienté est-ouest
- Financement : contracting avec l'exploitant du réseau de distribution de La Goule
- Utilisation actuelle : principalement consommation propre (technique ferroviaire, infrastructure IT)
- Réalisation : 2018

9 Injection 16,7 Hz, Zurich-Seebach ZH (CFF)

« Les CFF se sont engagés à exploiter systématiquement leur potentiel d'électricité solaire. En tant qu'entreprise de transport public écologique, les CFF apportent ainsi une contribution précieuse à la production d'électricité pérenne et durable. »

Marcel Reinhard, chef du sous-programme des « Nouvelles énergies renouvelables », CFF SA

Les CFF sont à la fois le plus grand consommateur d'électricité de Suisse et un gros producteur de courant électrique. Cependant, leur propre production d'électricité n'est plus en mesure de répondre à une demande qui ne cesse de croître d'année en année. De fait, seules des installations PV ou éoliennes sont envisageables en tant que centrales électriques sur le territoire national. Il est

donc d'autant plus crucial que les CFF exploitent systématiquement leurs surfaces de toiture facilement disponibles aux fins de production d'électricité solaire.

L'utilisation directe du courant du poste de conversion de fréquence de Zurich-Seebach comme énergie de traction s'est donc imposée comme une évidence. Toutefois, il n'existe à ce jour aucun onduleur standard pour la conversion à la fréquence du réseau ferroviaire qui est de 16,7 Hz. Néanmoins, les CFF ont pu bénéficier du travail de pionnier des Chemins de fer fédéraux autrichiens (ÖBB) qui ont construit une centrale de 1 MW à Wilfleinsdorf en 2015. Les onduleurs Fronius fabriqués à cette fin sont désormais mis en œuvre également à Seebach.

Descriptif du projet

- Puissance de l'IPV : 132 kW/80 kVA
- Rendement énergétique : 125 000 kWh/an
- Type d'IPV : toiture gravier, légèrement relevée vers le sud
- Coût : env. CHF 210 000.-
- Financement : fonds d'investissement des CFF et programme d'encouragement SETP 2050 de l'OFT
- Destination du courant produit : courant de traction des CFF (16,7 Hz)
- Réalisation : 2019/2020

Photo : Christof Bucher, Basler & Hofmann AG



10 Arrêt de bus électrique, Brugg AG (CarPostal)

«Nous sommes fiers du concept énergétique global d'IBB dans la ville de Brugg.

Celui-ci comprend une production d'électricité sur le toit du terminal de bus, un accumulateur à batterie avec commande, une station de recharge avec pantographe ainsi que la connexion au réseau IBB.»

Philippe Ramuz, directeur des services réseau chez IBB Energie AG

Dans la région de Brugg, CarPostal a mis en service un bus électrique en 2021. Le prestataire de services énergétiques IBB Energie AG a fait construire une installation photovoltaïque sur le toit du quai de bus existant. L'énergie solaire est convertie sur une surface de 452 m² par 242 modules solaires de haute qualité. Le stockage intermédiaire local a été mis en service en 2022. Il sert à lisser les pics de demande et assure la couverture des besoins annuels en électricité grâce au courant solaire de l'installation photo-voltaïque. Le bus électrique profite à chaque fois des 12 minutes d'arrêt à l'arrêt Bahnhof/Campus pour recharger temporairement la batterie. Cette recharge du bus entraîne plusieurs fois par heure un prélèvement important de courant à haute puissance et en très peu de temps.

Descriptif du projet

- Puissance PVA : 88,3 kW
- Production d'énergie : 83 200 kWh/an
- Utilisation de l'électricité : L'électricité produite est principalement utilisée pour le fonctionnement du bus, l'excédent de production est injecté dans le réseau.
- Type d'IPV : L'installation n'est pas seulement orientée est-ouest, mais aussi nord-sud. En raison de ces quatre orientations et afin d'améliorer le rendement, tous les modules ont été équipés d'optimiseurs.
- Financement : par IBB Energie AG
- Réalisation : 2021/2022
- Particulier : Le chargement se fait pour la première fois à l'aide d'un pantographe qui s'abaisse sur le bus par le haut.

Photo : Postauto



11 Toit pliable au-dessus d'un parking, Jakobsbad AI (téléphérique du Kronberg)



Photo : St. Gallisch-Appenzellische Kraftwerke AG (SAK)

Descriptif du projet

- Puissance de l'IPV : 429 kW
- Rendement énergétique : 350 000 kWh/an
- Type d'IPV : toit pliable
- Coût : CHF 1,5 million
- Financement : investissement propre de SAK AG et participation citoyenne
- Destination du courant produit : consommation propre, injection dans le réseau
- Réalisation : 2020
- Spécificité : toit pliant rétractable en cas de vents violents (vitesse > 15 m/s), de chutes de neige et de verglas

Au printemps 2020, une installation PV pliable de 4000 m² a été installée sur le parking du téléphérique du Kronberg.

L'installation PV se compose de 1320 panneaux solaires et produit environ 350 000 kWh par an.

Au même titre que la mise en œuvre technique, le financement fait lui aussi figure d'innovation : outre l'investissement de SAK AG, la participation des citoyens est également proposée en échange de « bons d'aventure » du téléphérique Jakobsbad-Kronberg.

Le toit pliant solaire, développé par dhp Technology, est déjà utilisé sur les bassins de la station d'épuration de Coire.

12 RCP : Salzmann AG Transporte et l'atelier de RBS, Worbboden BE (RBS)



Photo : Damian Poffet

Descriptif du projet

- Puissance PVA : ca. 195,84 kW
- Production d'énergie : ca. 199 823 kWh/an
- Utilisation de l'électricité : Immeuble commercial Salzmann AG Transporte et atelier RBS, Worblaufen. Le taux d'autoconsommation est de 61,2%.
- Coûts : CHF 270 000.-
- Propriétaire : Salzmann AG Transporte
- Réalisation : 2021

Deux entreprises, une installation PV, un RCP – l'entreprise Salzmann AG

Transporte a pris l'initiative : le grand toit de son nouveau garage devait être équipé de modules PV. Salzmann n'a besoin que d'une petite partie de l'électricité pour elle-même. Comme l'atelier de RBS se situe juste à côté du nouveau garage et que l'atelier a besoin de beaucoup d'électricité, surtout pendant la journée, les conditions étaient bonnes pour une installation commune. RBS achète de l'électricité du toit de Salzmann lorsque la production y est suffisante. Si la production n'est pas suffisante, Salzmann utilise l'électricité renouvelable achetée par RBS à un prix avantageux. La distribution de l'électricité se fait directement à l'atelier de RBS.

13 Rénovation du funiculaire Bienne-Macolin, Bienne BE (Transports publics de Biel-Bienne)

«Le système énergétique développé fonctionne de manière fiable en continu ; il a permis de réduire nos coûts d'électricité de 30% réduit.»

Raphaël Schlup, responsable technique/
exploitation des remontées mécaniques,
Transports publics de Biel-Bienne

Sous la direction de la Haute école de Lucerne, un concept a été développé pour le funiculaire, dans lequel jusqu'à 80% de l'énergie de freinage peut être stockée et ensuite mise à disposition pour le prochain trajet. L'énergie est ainsi stockée temporairement dans une batterie d'une capacité de 67 kWh. Une installation photovoltaïque, dont la production annuelle est estimée à 43 000 kWh, a été mise en service sur le toit de la station amont. Sa production électrique peut également être stockée dans la batterie pour l'exploitation du téléphérique.

Descriptif du projet

- Puissance PVA : 44 kW
- Production d'énergie : 43 MWh/an
- Type d'IPV : toit à une pente, 20 degrés d'inclinaison
- Coût : Env. CHF 160 000.-
- Financement : Dans le cadre de l'assainissement global des chemins de fer, à parts égales entre l'OFT et le canton
- Utilisation de l'électricité : Consommation propre, stockage de l'excédent dans des batteries
- Réalisation : 2020
- Particulier : Combinaison de la récupération de l'énergie de freinage, d'un stockage intermédiaire (67 kWh) et de l'installation photovoltaïque

Photo : Dirk Weiss



14 Concept énergétique, Biberist Ost SO (BLS)

Sur le toit plat du bâtiment technique, une installation PV a été réalisée sous la forme d'une toiture à deux pans.

Le toit plat situé sous l'installation PV a été réalisé sous forme de «toit nu». Ainsi, la sous-structure a pu être posée directement sur la couverture du toit. Le toit plat et l'installation photovoltaïque sont accessibles par la porte située à l'avant pour les travaux de maintenance et de dépannage. L'installation PV alimente les équipements techniques ferroviaires via le système de stockage par batterie. Des batteries de stockage haute tension (2×23kWh) de type NiMH (batteries bipolaires Nickel Métal Hydride®) ont été utilisées.

Descriptif du projet

- Puissance PVA : 13,65 kW
- Production d'énergie : Environ 12 285 kWh/an
- Utilisation de l'électricité :
 - Optimisation de la consommation propre et batterie UPS
- Coûts : Environ CHF 42 000
- Propriétaire : BLS Netz AG
- Réalisation : 2021/22
- Particulier : Le système PV alimente un système de stockage redondant par batterie pour l'optimisation des besoins propres et un système UPS (alimentation sans interruption)

Photo : BLS AG, Pascal Münger



Contacts

OFT
Tristan Chevroulet
Directeur du programme Stratégie
énergétique des transports publics
Office fédéral des transports
3003 Berne
T +41 58 465 47 41
info.energie2050@bav.admin.ch
www.bav.admin.ch/energie2050

Swissolar
Association suisse des profes-
sionnels de l'énergie solaire
Neugasse 6
8005 Zurich
T +41 44 250 88 33
info@swissolar.ch
www.swissolar.ch

Pronovo
Organe d'exécution des pro-
grammes d'encouragement
aux énergies renouvelables
Dammstrasse 3
5070 Frick
T 0848 014 014
info@pronovo.ch
www.pronovo.ch

CFF
Daniel Ryter
Conseiller clientèle pour le
courant de traction
Industriestrasse 1
3052 Zollikofen
T +41 79 772 29 61
daniel.ryter@sbb.ch
www.cff.ch

Abréviations

BTF	Bâtiment technique ferroviaire
CN	Centrale nucléaire
ESTI	Inspection fédérale des installations à courant fort
ETP	Entreprise de transport public
FIF	Fonds d'infrastructure ferroviaire
GI	Gestionnaire d'infrastructure
Hz	Hertz
IPV	Installation photovoltaïque
kVA	Kilovoltampère
kW	Kilowatt, ici la puissance nominale d'une IPV ; souvent aussi appelé « kWc »
kWh	Kilowattheure
LAT	Loi sur l'aménagement du territoire
LCdF	Loi sur les chemins de fer
MWh	Mégawattheure
OFT	Office fédéral des transports
OPAPIF	Ordonnance sur la procédure d'approbation des plans d'installations ferroviaires
OIBT	Ordonnance sur les installations à basse tension
PAP	Procédure d'approbation des plans
PV	Photovoltaïque
RCP	Regroupement dans le cadre de la consommation propre
SETP 2050	Stratégie énergétique 2050 des transports publics
TRV	Transport régional de voyageurs
TWh	Térawattheure (1TWh = 1 milliard de kilowattheures)

Les entreprises de transport public (ETP) pourraient produire près d'un quart de leur consommation d'énergie sur leurs propres bâtiments et infrastructures, et contribuer ainsi de manière substantielle à la mise en œuvre de la Stratégie énergétique 2050.

La plupart des bâtiments et beaucoup d'infrastructures des ETP sont adaptés à l'aménagement d'installations PV. Grâce aux réseaux de distribution généralement très bien développés, le fait que l'électricité soit consommée localement plutôt qu'injectée dans le réseau ou vice versa n'a par ailleurs que peu d'importance sur le plan technologique et écologique. Toutefois, dans le contexte économique et politique actuel, la rentabilité d'une installation PV passe nécessairement, en règle générale, par la consommation locale d'une partie de l'électricité solaire produite sur site. La forte consommation d'énergie et croissante de la plupart des ETP va largement dans ce sens.