

**PV monté
au sol en
zone à bâtir**



A l'attention de :
Service de l'énergie
Monsieur Serge Boschung
Boulevard de Pérolles 25
Case Postale
1701 Fribourg

Le présent rapport a été élaboré pour le compte du Groupe de travail PV monté au sol.

Membres :

Boschung Serge, SdE
Rast Eric, SdE
Roger Steiner Kyria, SeCA
Cheda Francesca, SFN
Plomp Gijs, SEn
Magnin André, SPC
Voegeli Christian, Grangeneuve

La responsabilité du contenu incombe exclusivement aux auteur-e-s.

Marcel Gutschner, Anita M. Fasel, Lucile Berset et Léa Keller
NET Nowak Energie & Technologie SA
Waldweg 8
CH – 1717 St. Ursen

Version du 13 janvier 2025

Table des matières

0. INTRODUCTION	5
I. LES BASES	8
I.I CADRE LÉGAL.....	8
I.II TECHNOLOGIES POUR LES APPLICATIONS PHOTOVOLTAÏQUES	11
I.III PROFILS ÉNERGÉTIQUES ET PRODUCTIBILITÉ	16
I.IV IMPACT SUR LE SOL, LA BIODIVERSITÉ ET LE PAYSAGE	21
II. ANALYSE DES INSTALLATIONS EXISTANTES	30
II.I ANALYSE DES PROJETS PHOTOVOLTAÏQUES MONTÉS AU SOL EN ZONE À BÂTIR RÉALISÉS EN SUISSE	30
II.II FACTEURS FAVORABLES	36
III. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	40
BIBLIOGRAPHIE	41

0. Introduction

Dans sa Stratégie photovoltaïque¹, le Conseil d'Etat a adopté la mesure 3.2 PV monté au sol en créant un Groupe de travail (GT) pour définir les conditions cadres pour la réalisation d'installations photovoltaïques montées au sol sur le territoire cantonal. Le cahier des charges du groupe de travail a été précisé en ce qui concerne les zones, se focalisant ainsi sur le PV monté au sol dans les zones à bâtir dans le cadre de l'établissement de ce rapport.

Le Groupe de travail a choisi de privilégier une approche ciblée sur les notions de base concernant le PV monté au sol, suivie d'une analyse des installations photovoltaïques montées au sol déjà réalisées en Suisse afin d'en déduire les facteurs favorables.

Dans ce contexte, le présent rapport propose des informations explicatives et des clés de compréhensions générales concernant les installations photovoltaïques montées au sol. Les notions et concepts de bases sont d'abord présentés au chapitre I. Il s'agit du cadre légal, des aspects techniques relatifs aux applications photovoltaïques, des différents profils énergétiques et de la production hivernale. Les impacts sur le sol, la biodiversité et le paysage sont en outre présentés à la fin du premier chapitre. Le chapitre II propose une analyse territoriale des installations existantes au niveau national et cantonal. Une liste des facteurs favorables permet de comprendre les enjeux liés à la réalisation d'une installation photovoltaïque montée au sol. Finalement, le chapitre III offre des pistes et des mesures pouvant favoriser le développement du PV monté au sol au niveau cantonal.

¹ Etat de Fribourg, Stratégie photovoltaïque, août 2023



I. Les bases



I. Les bases

Ce chapitre présente les notions de base, relatives à la thématique sur quatre niveaux :

- I.I Cadre légal
- I.II Technologies pour les applications photovoltaïques
- I.III. Profils énergétiques et production hivernale
- I.IV Impact sur le sol, la biodiversité et le paysage

I.I Cadre légal

Dans le cadre de sa stratégie énergétique et climatique 2050, la Confédération a récemment modifié la base légale, notamment **la loi et l'ordonnance sur l'aménagement du territoire**. Ces nouvelles dispositions impactent les installations photovoltaïques montées au sol sur les types de surfaces analysés par le Groupe de travail.

L'article 18a de la loi sur l'aménagement du territoire et l'article 32a de l'ordonnance sur l'aménagement du territoire mentionnent et définissent « les installations solaires suffisamment adaptées aux toits » d'une part et présentent la base pour le droit cantonal qui « peut désigner des types déterminés de zones à bâtir (...) dans lesquels d'autres installations solaires peuvent aussi être dispensées d'autorisation. »

La loi sur l'aménagement du territoire du 22 juin 1979 (état au 1er janvier 2019) définit les principes pour les installations solaires dans **l'art. 18a**.

¹ *Dans les zones à bâtir et les zones agricoles, les installations solaires suffisamment adaptées aux toits ne nécessitent pas d'autorisation selon l'art. 22, al. 1. De tels projets doivent être simplement annoncés à l'autorité compétente.*

² *Le droit cantonal peut :*

a. désigner des types déterminés de zones à bâtir où l'aspect esthétique est mineur, dans lesquels d'autres installations solaires peuvent aussi être dispensées d'autorisation ;

b. prévoir une obligation d'autorisation dans des types précisément définis de zones à protéger.

³ *Les installations solaires sur des biens culturels ou dans des sites naturels d'importance cantonale ou nationale sont toujours soumises à une autorisation de construire. Elles ne doivent pas porter d'atteinte majeure à ces biens ou sites.*

⁴ *Pour le reste, l'intérêt à l'utilisation de l'énergie solaire sur des constructions existantes ou nouvelles l'emporte en principe sur les aspects esthétiques.*

L'ordonnance sur l'aménagement du territoire du 28 juin 2000 (état le 1er juillet 2022) précise les conditions et critères pour qu'une installation solaire soit dispensée d'autorisation **art. 32a**.

L'article **18a al. 2** de la loi sur l'aménagement du territoire donne aux Cantons le droit de « désigner des types déterminés de zones à bâtir où l'aspect esthétique est mineur, dans lesquels d'autres installations solaires peuvent aussi être dispensées d'autorisation. » Cette disposition est en principe en vigueur depuis mi-2022 et

est précisée par les Cantons. En ce sens, le canton de Fribourg est en train de mettre à jour sa Directive solaire.²

Quelques cantons ont également défini des dispositions concernant **la procédure d'annonce** pour des installations photovoltaïques montées au sol (jusqu'à une surface maximale définie qui reste normalement relativement modeste) dans les zones à bâtir. L'exemple du canton de Zurich est présenté dans l'encadré ci-dessous.

Exemple du canton de Zurich concernant la procédure d'annonce obligatoire pour les installations solaires montées au sol sur la base de l'art. 18 a LAT lit 2 a

Sur la base de l'art. 18 a LAT lit 2 a, le canton de Zurich a défini la procédure d'annonce obligatoire pour les installations solaires montées au sol dans sa **Bauverfahrensverordnung** (Ordonnance sur les procédures de construction) :

II. Meldepflicht

A. Tatbestände

§ 2 a.55 1 Der Meldepflicht unterliegen unter Vorbehalt von Abs. 2:

...

c. freistehende Solaranlagen in Bauzonen bis zu einer Fläche von 20 m²,

...

e. Solaranlagen an Fassaden sowie freistehende Solaranlagen in Industrie- und Gewerbezonen

Le canton de Zurich a défini dans sa **Directive solaire**³ les types de zones à bâtir où l'aspect esthétique est secondaire et dans lesquels d'autres installations solaires peuvent aussi être dispensées d'autorisation. En ce qui concerne les installations photovoltaïques montées au sol, la directive solaire définit que les installations d'une surface maximale de 20 m² – et sans limite pour les installations dans les zones industrielles et artisanales – doivent être simplement annoncées à l'autorité et sont donc en principe dispensées d'autorisation.

Le Guide relatif à la procédure d'annonce et d'autorisation pour les installations de SuisseEnergie⁴ relate que « les installations photovoltaïques isolées (par ex. servant de paroi de protection visuelle) ne tombent pas dans le champ de l'art. 18a, al. 1, LAT (arrêt du tribunal cantonal d'AI, V 20-2018 du 24 juin 2019 dans la RSJ 116/2020 p. 394 et arrêts cités ci-après). Une installation non planifiée sur un toit de bâtiment n'est donc dispensée d'autorisation de construire que si le canton déclare d'autres installations exemptes d'autorisation en application de l'art. 18a, al. 2 let. a, LAT. Dans quelques cantons, les installations sur une surface libre pouvant couvrir jusqu'à 20 m² sont dispensées de l'obligation de demander une autorisation, alors que des installations plus grandes restent soumises à autorisation. »

² Etat de Fribourg, Directive concernant l'intégration architecturale des installations solaires thermiques et photovoltaïques, octobre 2015

³ Kanton Zürich, Leitfaden für Solaranlagen – Verfahren und Gestaltung, Dezember 2022

⁴ SuisseEnergie, Guide relatif à la procédure d'annonce et d'autorisation pour les installations, juin 2023

Il convient de signaler les dispositions de **l'art. 32c OAT** relatives aux installations solaires imposées par leur destination hors de la zone à bâtir, afin de clarifier la situation pour les installations solaires sur les infrastructures hors zones à bâtir appartenant au domaine public (p. ex. routes). Pour les installations solaires imposées par leur destination **hors de la zone à bâtir**, **l'art. 32c de l'ordonnance sur l'aménagement du territoire** précise :

¹ *Hors de la zone à bâtir, les installations solaires raccordées au réseau électrique peuvent être imposées par leur destination en particulier si elles :*

a. forment une unité visuelle avec des constructions ou des installations dont l'existence légale à long terme est vraisemblable ;

(...)

² *Si l'installation requiert une planification, le projet doit se fonder sur une base correspondante.*

³ *Une pesée des intérêts complète est effectuée dans tous les cas.*

⁴ *Les installations et les parties d'installation qui ne satisfont plus aux conditions d'autorisation sont démontées.*

Cette base légale permet de clarifier la situation pour les installations solaires sur les infrastructures hors zones à bâtir et rend possible, tout en respectant les critères, des installations photovoltaïques montées au sol sur les surfaces du domaine public, par exemple en bordure des routes.

Les « Mesures urgentes visant à assurer rapidement l'approvisionnement en électricité pendant l'hiver » concernant entre autres le thème fortement débattu du « solaire alpin », sont définies dans la loi sur l'énergie (LEne) modifiée le 30 septembre 2022. Le potentiel du solaire alpin étant très limité et non priorisé par le Conseil d'Etat, cette thématique n'est à l'heure pas traitée par le Groupe de travail. Il en va de même pour l'agri-PV.

Si l'on peut constater que de diverses publications illustrent la pratique des procédures et des exemples en Suisse (comme p.ex. le Guide relatif à la procédure d'annonce et d'autorisation pour les installations de SuisseEnergie⁵), les publications concernant plus spécifiquement les installations photovoltaïques montées au sol sont bien plus rares.



En bref, du point de vue juridique, rien n'interdit la pose de panneaux photovoltaïques au sol, mais en général, une procédure de demande de permis de construire est nécessaire. Les cantons peuvent définir des dispositions relatives à la procédure d'annonce des installations solaires. À titre d'exemple, voir la directive solaire du canton de Zurich.

⁵ SuisseEnergie, Guide relatif à la procédure d'annonce et d'autorisation pour les installations, juin 2023

I.II Technologies pour les applications photovoltaïques

Les notions techniques de base sont présentées de manière succincte pour les applications photovoltaïques aux niveaux des modules, des structures, des fondations, des configurations et des installations annexes.

Types d'installation

Les installations photovoltaïques au sol peuvent être montées de manière rigide :

- orientées vers le sud (en forme de pupitre en rangées)
- orientées est-ouest (en forme de toit « normal » ou « creux »)
- en position verticale (avec des modules bifaciaux).

Il existe également des systèmes pouvant suivre la course du soleil (suiveur / tracker uniaxial ou biaxial). Ces installations sont assez rares en Suisse et ne sont pour cette raison pas considérées dans ce travail.

Tableau 1 : Types d'installations photovoltaïques les plus fréquentes

Modules montés en forme de pupitre

Installation photovoltaïque de 1 MW réalisée en 2005 sur le poste de transformation électrique à Verbois (GE).

Source : SIG⁶



Modules montés en forme de toit « normal »

Installation photovoltaïque de 801 kW réalisée en zone d'activités et mise en service en 2014 à Eglisau (ZH).

Photo aérienne : map.geo.admin.ch.



Modules montés en forme de toit « creux »

Carport solaire avec une puissance de 256 kW réalisé à Deitingen (SO).

Source : Megasol Energie AG⁷



⁶ Source : Services Industriels de Genève (SIG) – site ouèbe https://www2.sig-ge.ch/a-propos-de-sig/nous-connaître/sites_expositions/centrale-solaire-solar-3.

⁷ Source : Megasol Energie AG – site ouèbe https://store.megasol.ch/de_CH/reference/4055-carport-cleantech-businesspark.

Système pliable avec modules mobiles

Premier toit solaire pliable réalisé en 2019/2020 sur un parking en Suisse. L'installation photovoltaïque sur le parking des remontées mécaniques à Jakobsbad (AI) a une puissance de 429 kW.

Source : DHP⁸



Modules en position verticale

Modules photovoltaïques en position verticale formant la clôture solaire du parking du Centre thérapeutique La Brine à Montagny-près-Yverdon (VD) réalisé en 2017.

Source : NET SA



Selon le site, le type de montage et d'orientation est défini par la morphologie existante comme p.ex. des talus.



Illustrations 1 et 2 : Modules montés sur les talus du site de la STEP Guggersbach à Planfayon (FR) et de la centrale électrique Electrobroc à Broc (FR). Source : NET SA

⁸ Source : DHP Technology AG - site ouèbe <https://www.dhp-technology.ch/referenzen/das-erste-solar-faltdach-%C3%BCber-einer-parkfl%C3%A4che>

Modules

Pour les installations photovoltaïques montées au sol, les modules « standards » ou plus grands peuvent être utilisés. Les modules bifaciaux proposés de plus en plus depuis quelques années sur le marché pourraient être intéressants dans les applications verticales ou « étagées » (p.ex. carport solaire). Des solutions plus spécifiques pour les aires de stationnement ont été étudiées et publiées par SuisseEnergie.⁹



Illustration 3 : Modules standards montés en zone industrielle à Payerne (VD)
avec une inclinaison de 11,5°. Source : NET SA



Illustration 4 : Modules bifaciaux intégrés dans une installation photovoltaïque verticale.¹⁰

⁹ EnergieSchweiz, Solarstrom auf Parkplatzüberdachungen, 4 mai 2022

¹⁰ Source: PV Magazin, site <https://www.pv-magazine.de/2018/02/23/mehrertrag-bei-bifazialen-modulen-haengt-nicht-nur-vom-hersteller-ab/>

Fondations

Les fondations ainsi que la configuration des champs photovoltaïques doivent tenir compte du caractère du sol et de son utilisation secondaire (p.ex. prairie) et de son double usage (p.ex. aires de stationnement). Aujourd'hui, les fondations par battage ou vissage (pieux en acier) permettent une meilleure préservation des sols que les fondations en béton.

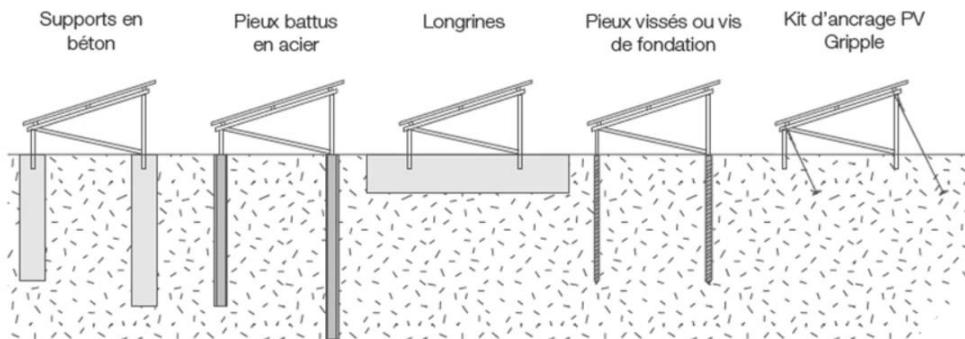


Illustration 5 : Solutions d'ancre photovoltaïques. Source : Grippe¹¹



Illustration 6 : Système de montage et fondations du système photovoltaïque en zone industrielle à Payerne (VD). Source : NET SA

¹¹ Site de l'entreprise Grippe, <https://www.gripple.com/fr-fr/solaire-photovoltaïque/service-technique-division-solaire/kit-ancre-pv-comment-ca-marche/>

Entretien et aspects sécuritaires

Les installations « annexes » comme la partie électrique (notamment les onduleurs, les câbles et le poste de raccordement) ainsi que l'accessibilité pour l'entretien (p.ex. fauchage ou déneigement) et les aspects sécuritaires (p.ex. circulation) nécessitent une planification et une réalisation bien adaptées au site et à ses usages.



Illustration 7 : L'installation photovoltaïque de 89 kW a été réalisée en 2014 à Zumikon (ZH) sur une bande longue de 300 m entre le mur antibruit et l'autoroute accessible et protégée par une glissière de sécurité.¹²



En bref, le développement des technologies et des produits disponibles sur le marché permet de réaliser des installations photovoltaïques montées au sol qui sont bien adaptées au site et à ses utilisations.

Les fondations par battage ou vissage (pieux en acier) sont devenues la norme et permettent de mieux préserver les sols que les fondations en béton.

¹² Source : Tiefbauamt Baudirektion Kanton Zürich / Basler & Hofmann, <https://www.baslerhofmann.ch/projekte/details/laermsschutz-zumikon.html>

I.III Profils énergétiques et productibilité

Le profil énergétique correspond à la production d'électricité solaire d'un système photovoltaïque pour un site et dans un temps donné. Le profil énergétique et la production d'électricité annuelle et hivernale (octobre à mars) sont présentés sous deux angles :

- i) Production d'électricité par kW installé (c.-à-d. pour une puissance installée).
- ii) Production d'électricité par rapport à une surface donnée (p.ex. 100 m²)

La production ou la productibilité¹³ est calculée i) pour un système photovoltaïque « théorique » composé de deux modules (sans ombrage proche) ainsi que ii) pour un système photovoltaïque « configuré » sur une surface de 100m² en tenant compte de l'ombrage projeté entre les rangées de panneaux.

La production d'électricité dépend – en plus des facteurs technologiques – de l'irradiation solaire, de l'orientation des modules et de l'albedo.¹⁴ Les valeurs pour la production sont calculées et illustrées pour un système solaire sis à Fribourg avec le logiciel PVsyst.¹⁵ Les calculs sont réalisés pour six variantes, chacune testée avec des panneaux monofaciaux et bifaciaux. Les résultats obtenus peuvent être utilisés à titre indicatif pour d'autres systèmes et sites similaires.

Aujourd'hui, la majorité des modules installés sont du type monofacial. Les modules bifaciaux, qui utilisent également la lumière incidente sur la face arrière, progressent sur le marché. Les modules bifaciaux^{16 17} ont des caractéristiques spécifiques qui peuvent être avantageuses pour un certain nombre d'applications. Comparé avec des modules monofaciaux, le rendement supplémentaire obtenu grâce aux modules bifaciaux peut atteindre quelques pourcents pour une installation avec des modules légèrement ou moyennement inclinés. Le rendement supplémentaire peut atteindre environ 90% pour une installation avec des modules verticaux orientés est / ouest.

I.III.I Production d'électricité pour une puissance installée (par kW)

En Suisse, une puissance de 1 kW permet de produire en moyenne environ 1000 kWh d'électricité solaire par an.

Illustration 8 : Une puissance de 1 kW correspond à un peu plus de deux modules avec une surface de 4 à 5 m².



¹³ Dans le langage technique, les termes « productible » et « productibilité » sont préférés. Ils désignent la production potentielle de courant solaire d'un système photovoltaïque par unité de puissance et de temps (normalement kWh par kW et par an), en tenant compte des facteurs technologiques et météorologiques notamment. Dans ce rapport, le terme productibilité correspond au potentiel alors que la production est utilisée pour les données effectives.

¹⁴ L'albedo quantifie la part du rayonnement incident réfléchi ou diffusée par une surface (p.ex. du sol).

¹⁵ La productibilité (électricité sortante de l'onduleur) a été calculée avec le logiciel PVsyst V7.4.8 pour un système photovoltaïque avec des modules monofaciaux d'une efficience d'environ 22% (JKM-440N-54HL4R) et leur version bifaciale (JKM-440N-54HL4R-BDV) pour un site à Fribourg (Albedo = 0,2). La surface d'un module est de 2 m².

¹⁶ SuisseEnergie, Photovoltaïque bifacial vertical, Manuel, 30 novembre 2023

¹⁷ La définition et standardisation de la puissance nominale des modules bifaciaux fait l'objet d'analyses actuelles de la Commission électrotechnique internationale.

Le graphique suivant montre la production pour différentes variantes d'irradiation solaire et de l'orientation des modules :

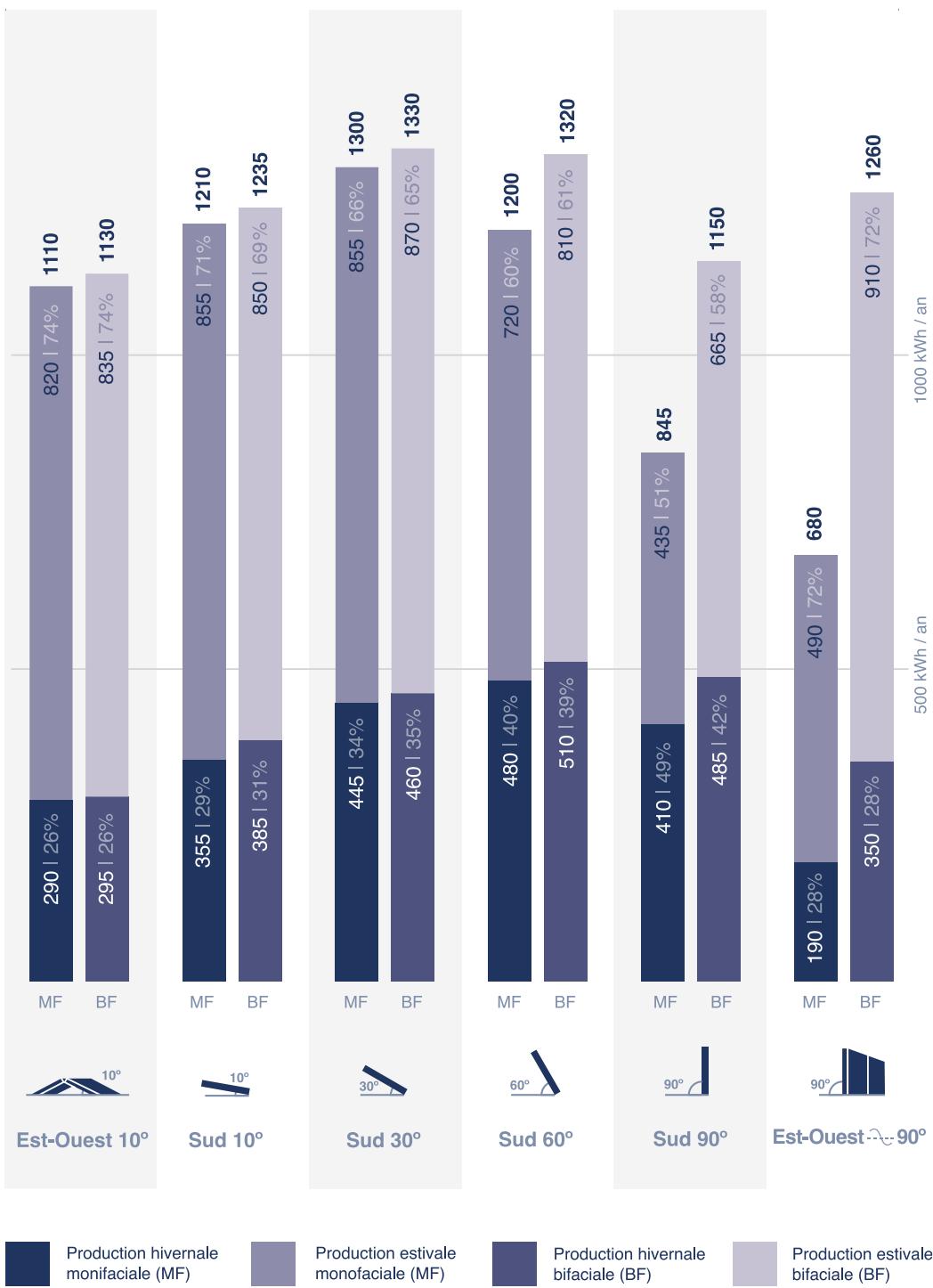


Illustration 9 : Productibilité pour un kW installé (rendement spécifique) des différentes variantes pour un site à Fribourg (en kWh / an) sans ombrages proches. Valeurs calculées avec PVsyst, arrondies et partiellement interpolées. MF=monofacial, BF=bifacial

L'illustration montre la productivité pour les systèmes photovoltaïques « théoriques » d'une puissance de 1 kW pour des variantes avec différentes orientations. Quelques observations :

- De toutes les variantes analysées, ce sont les modules orientés sud et inclinés à 30° qui atteignent la **productivité maximale** sur une année (MF : 1'300 kWh / an, BF : 1'330 kWh / an).
- Les modules bifaciaux orientés sud et inclinés à 60° atteignent la **productivité hivernale maximale** sur une année (510 kWh / an)
- Les modules bifaciaux installés verticalement atteignent également des niveaux de productivité intéressants. Les modules bifaciaux produisent environ 1'250 kWh / an avec une orientation est / ouest et 1'150 kWh / an avec une orientation sud.
- Les gains énergétiques des modules bifaciaux par rapport aux modules monofaciaux sont notables : jusqu'à environ 80 à 90% pour les modules orientés est / ouest et jusqu'à environ 35% pour les modules orientés sud.

I.III.II Production d'électricité pour une surface au sol de 100 m²

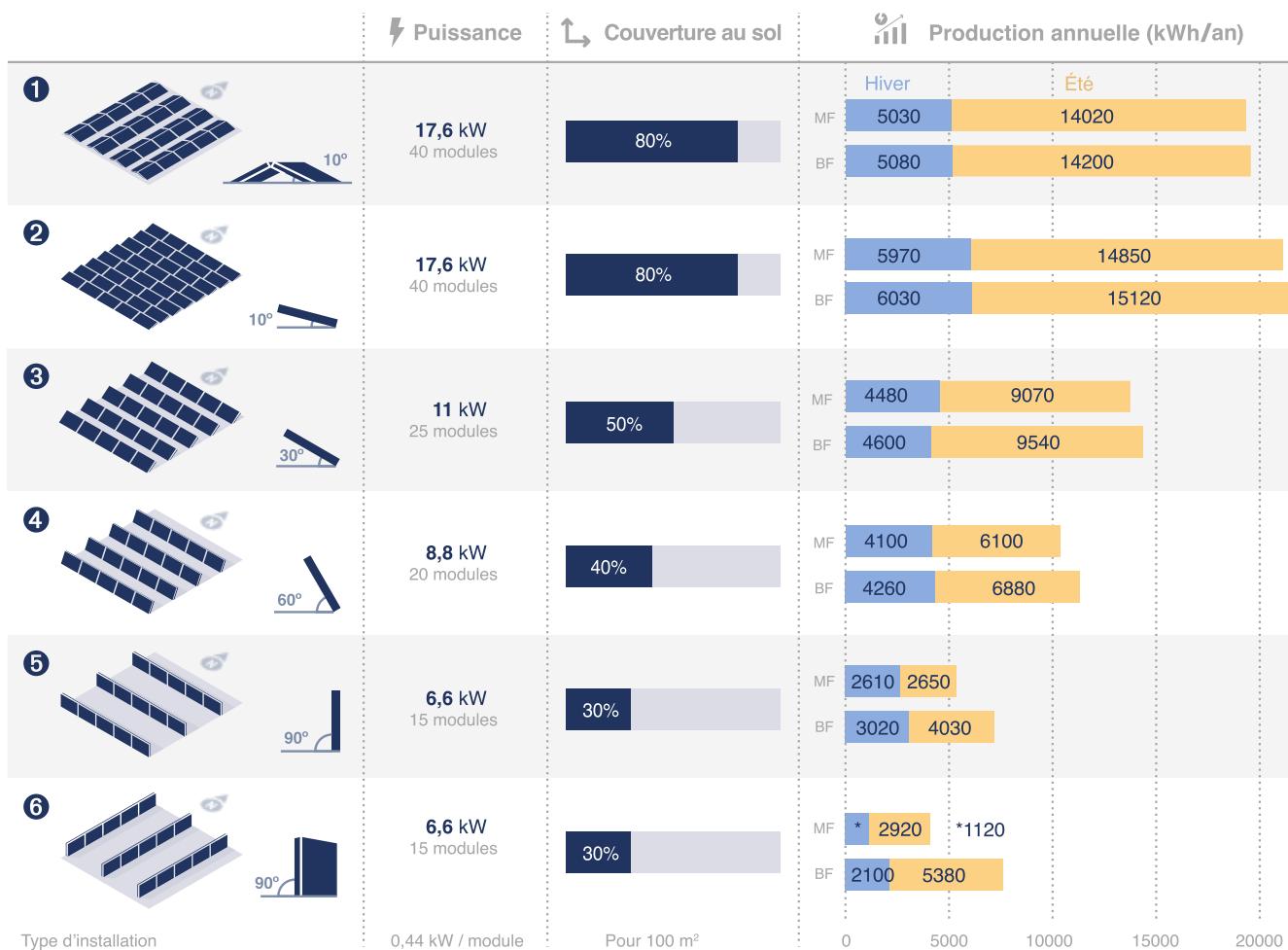


Illustration 10 : Productivité des différentes variantes sur une surface brute au sol de 100 m² pour un site à Fribourg. Valeurs calculées avec PVsyst, arrondies et partiellement interpolées.

Comme le montre l'illustration la production d'électricité sur une surface donnée (p.ex. 100 m²) ne dépend pas uniquement du productible par unité de puissance mais également et essentiellement de la configuration du système installé et des ombrages proches.

- **La productibilité absolue annuelle et hivernale des variantes « inclinaison à 10° » sud et est / ouest sont supérieure à toutes les autres configurations.** Aussi dans la réalité les modules sont fréquemment montés avec une inclinaison de 10° (ce qui permet également de profiter d'un rinçage « naturel » des modules grâce à la pluie). L'avantage de cette variante réside surtout dans le fait que 40 modules peuvent être installés sur une surface de 100 m². Une quarantaine de modules correspond à un taux de couverture¹⁸ d'env. 80% (80 m² de surfaces des modules pour 100 m² de surface du terrain) et permettent de produire environ 19'000 respectivement 21'000 kWh par an. La part hivernale se monte à environ 5'000 à 6'000 kWh par an.
- Le phénomène de l'ombrage proche réduit notablement le nombre de modules pouvant être montés sur le terrain pour les variantes à plus forte inclinaison : **25 modules** pour une inclinaison de 30°, **20 modules** pour une inclinaison de 60° et **15 modules** pour une inclinaison de 90°. Il en résulte une puissance et une production considérablement moins grandes pour ces types d'installation. De plus, les pertes dues aux ombrages proches atteignent jusqu'à 10%. La variante avec des modules verticaux orientés est / ouest sont particulièrement touchés par les ombrages proches.
- La variante avec des **modules verticaux** est de plus en plus considérée car elle présente l'avantage d'avoir **une emprise au sol moindre**, laissant un plus grand choix et potentiel pour d'autres utilisations du sol entre les rangées.
- **Les modules bifaciaux** permettent de valoriser également l'irradiation solaire sur la face arrière. Le gain est très modeste (2 à 3%) pour les modules faiblement inclinés (10°). Ce gain monte à 10% pour les modules inclinés de 60°, à 35% pour les modules verticaux orientés sud / nord, voire à plus de 80% pour les modules verticaux orientés est / ouest.

¹⁸ Dans les calculs présentés ci-haut, le taux de couverture du sol présente le rapport entre la surface des modules et la surface brute au sol). Il ne se réfère pas à la surface couverte du sol en-dessous des modules ni la part du sol imperméabilisé par les éléments de fondation et de fixation.



En bref, plusieurs points sont à retenir pour le profil énergétique photovoltaïque du canton de Fribourg :

- **Pour maximiser la production annuelle par kW installé, les modules devraient être orientés sud et inclinés à 30°.**
- **Les systèmes avec des modules inclinés d'environ 10°, orientés sud ou est / ouest permet de maximiser la production annuelle sur la surface d'un site donné.** Ce type d'installation permet également de produire davantage de courant solaire en hiver.
- **Les modules fortement inclinés impliquent un espacement plus important entre les rangées de modules pour éviter les problèmes d'ombrage.** Ceci réduit considérablement le nombre de panneaux -et ainsi la puissance- qui est installée sur le site. **Les systèmes avec des modules verticaux ont une emprise au sol moindre et offrent davantage d'options pour d'autres utilisations du sol entre les rangées.**
- **Le potentiel de production de courant solaire sur une surface donnée dépend de plusieurs critères et peut varier de manière considérable (entre 7'000 et 21'000 kWh / an) pour une surface de 100 m² selon les variantes.** Pour une estimation grossière, on peut ainsi compter 15'000 kWh / an par 100 m² ou 1'500'000 kWh / an par hectare (ce qui correspond approximativement à la consommation d'électricité annuelle de 350 ménages moyens).

I.IV Impact sur le sol, la biodiversité et le paysage

Même si les premières installations PV montées au sol ont déjà été réalisées il y a trente ans, la Suisse ne compte qu'un nombre relativement limité de ce type d'installations et ne possède que peu d'expérience et d'études¹⁹ concernant leur impact sur le sol, la biodiversité et le paysage. De manière générale, l'impact sur le sol, la biodiversité et le paysage varie en fonction du type d'installation photovoltaïque et la qualité respectivement le potentiel écologique de la parcelle (petit système installé sur le talus de la parcelle d'une villa, grand système installé sur une parcelle en zone à bâtir précédemment utilisée à des fins agricoles etc.).

S'il convient de distinguer les différents types d'installations, sites et situations, ce chapitre résume les connaissances issues surtout des installations photovoltaïques montées sur des champs libres (Freiflächenanlagen) réaffectés à la production d'électricité solaire (exclusive ou combinée à d'autres utilisations) dans d'autres pays. Ces installations devraient remplir potentiellement d'autres et / ou davantage d'exigences écologiques que les installations réalisées dans une zone à bâtir. Pourtant les aspects traités reflètent bien les enjeux et critères à considérer.

Une étude bibliographique²⁰ montre que l'impact des installations photovoltaïques montées au sol n'est pas forcément négatif sur l'environnement (faune, flore, sol etc.) hors milieux écologiques particulièrement sensibles (sites marécageux, réserves, biotopes etc.). L'impact peut même s'avérer positif sur le sol et la biodiversité par rapport à l'une ou l'autre utilisation du sol (p.ex. agriculture intensive). Néanmoins il y a lieu de tenir compte de la temporalité longue du déploiement de ces effets lors de l'analyse des projets individuels.

Il importe d'analyser l'état du sol et de tenir compte de quelques principes afin de protéger au mieux les sols concernés. Les mesures de protection peuvent varier selon la qualité des sols en place (sensibilité à la compaction). Comme il n'existe pas de données généralisées sur les sols dans le canton, un état initial devra être réalisé (concept de gestion des sols). Les points les plus critiques sont les suivants :

- i) Pour la circulation de machines, les limites d'engagement doivent être respectées. Elles varient selon le type de sol et l'état d'humidité. Généralement, seuls les véhicules à chenilles sont autorisés à circuler sur les sols.
- ii) Le calendrier des travaux devra tenir compte de l'humidité des sols (travaux seulement pendant la période de végétation).
- iii) Le système d'ancrage le plus respectueux des sols devra être choisi. Les phases d'installation et d'exploitation doivent être considérées.
- iv) Les structures métalliques protégées contre la corrosion doivent être choisies en fonction de leur solidité afin d'éviter la pollution du sol.

Plusieurs publications traitent de la thématique de l'impact sur le sol, la biodiversité et le paysage :

¹⁹ Les diagnostiques écologiques effectués avant (2015) l'installation puis après trois ans d'exploitation (2018) du parc solaire de Payerne montrent une légère amélioration tout en signalant que des mesures complémentaires (petits aménagements et adaptations dans le mode d'entretien) peuvent augmenter la valeur écologique. Les rapports y relatifs sont i) CSD Ingénieurs, Parc solaire de Payerne - Diagnostic écologique, Rapport de synthèse, 24 août 2015 et ii) CSD Ingénieurs, Parc solaire de Payerne - Diagnostic écologique, Rapport de synthèse, 6 novembre 2018

²⁰ Bundesamt für Energie (BFE), Auswirkungen von Freiflächen-Photovoltaikanlagen auf Biodiversität und Umwelt, 12. November 2021

- Une directive planificatrice éditée en Autriche²¹ propose des standards de mise en œuvre pour des installations photovoltaïques au sol respectueuses du sol, de la biodiversité et du paysage.
- Une publication de l'ADEME (Agence de la transition écologique, France) présente les thématiques, enjeux et bonnes pratiques en la matière.²² Les standards s'appliquent aux installations au sol « en plein air » mais peuvent orienter en grande partie les projets d'installations photovoltaïques au sol dans les zones à bâtir.
- D'autres publications sont listées dans la bibliographie.

Surfaces multifonctionnelles

Si la production de courant solaire est une priorité sur les sites sélectionnés, les autres fonctions de ces surfaces doivent également être prises en compte. En effet, les surfaces destinées à la production de courant solaire ne doivent pas se limiter à cet usage unique. Des fonctions supplémentaires peuvent et doivent être déterminées de manière judicieuse selon les conditions de construction des installations photovoltaïques au sol. Par exemple, la distance requise entre les modules pour éviter les problèmes d'ombrage offre des surfaces pouvant être aménagées de différentes manières :

- utilisation agricole secondaire extensive
- préservation ou amélioration des fonctions écologiques grâce aux jachères ou surfaces pionnières

Sur les sites ayant fait l'objet d'une exploitation agricole intensive, l'aménagement naturel de l'installation PV au sol peut permettre une utilisation des surfaces compatible avec la nature (extensification et / ou mise en valeur écologique). Cette multifonctionnalité des surfaces est garantie par une gestion appropriée des surfaces. Un concept de gestion des surfaces pourrait par exemple prévoir le pâturage par des moutons ou des mesures favorisant la biodiversité.

Fondations et mise en œuvre des installations annexes

Pour limiter l'impact sur les sols, le choix du type de fondation se fait en fonction du site choisi. Dans la mesure du possible, les méthodes préservant les sols tel que les fondations par battage ou vissage sont préférées aux fondations en béton. Il faut toutefois connaître l'historique du site, le battage et le vissage n'étant pas adaptés aux anciennes décharges ou aux terrains en pente géologiquement sensibles. Les installations électriques pour les onduleurs et le poste de transformation sont faits de manière à préserver au mieux la surface.

Les voies de circulation temporaires, nécessaires durant la phase de construction, sont planifiées en fonction du projet et de l'état du sol (p.ex. humidité) avec pour objectif de compacter le moins possible le sol et sont démontées une fois l'installation terminée. En outre, les voies de circulation à l'intérieur des installations sont réduites au minimum et réalisées sans imperméabilisation complète du sol, pour préserver et favoriser la végétation pionnière et l'habitats de certaines espèces d'animaux et d'insectes.

²¹ Bundesverband Photovoltaic Austria (PV Austria) / Österreichische Institut für Raumplanung (ÖIR), Natur- und raumverträglich eingefügt: Photovoltaik in der Landschaft - Planungsleitlinie für PV-Freiflächenanlagen mit Weitsicht für Umwelt und Raum, Februar 2022

²² ADEME, Photovoltaïque, sol et biodiversité - Enjeux et bonnes pratiques, mars 2023

En respectant ces principes, une installation photovoltaïque au sol, y compris toutes les installations annexes, entraîne un taux d'imperméabilisation total de 2 à 5 % maximum de la surface totale du projet, selon le site et le type d'installation. Le degré d'imperméabilisation réel dépend principalement de la configuration du terrain, de la pente et de la taille de l'installation.

Configuration des modules de l'installation

Afin de préserver la végétation et l'habitat, pas plus de 50 % de la surface totale du projet ne devrait être recouverte de modules. Une largeur minimale de 2 mètres entre chaque rangée de modules permet de préserver les fonctions écologiques du sol. Le bord inférieur des tables modulaires doit être surélevé par rapport au sol, en accord avec les mesures d'exploitation prévues. La valeur indicative est de 80 cm sur un sol plat. Cela facilite en outre l'exploitation mécanique ou le pâturage par des animaux de rente.

Afin de permettre une infiltration des précipitations, d'éviter une gestion technique des eaux pluviales et de laisser passer suffisamment de lumière sur les surfaces situées en dessous, la profondeur de la rangée de modules ne doit pas dépasser 6,5 mètres.

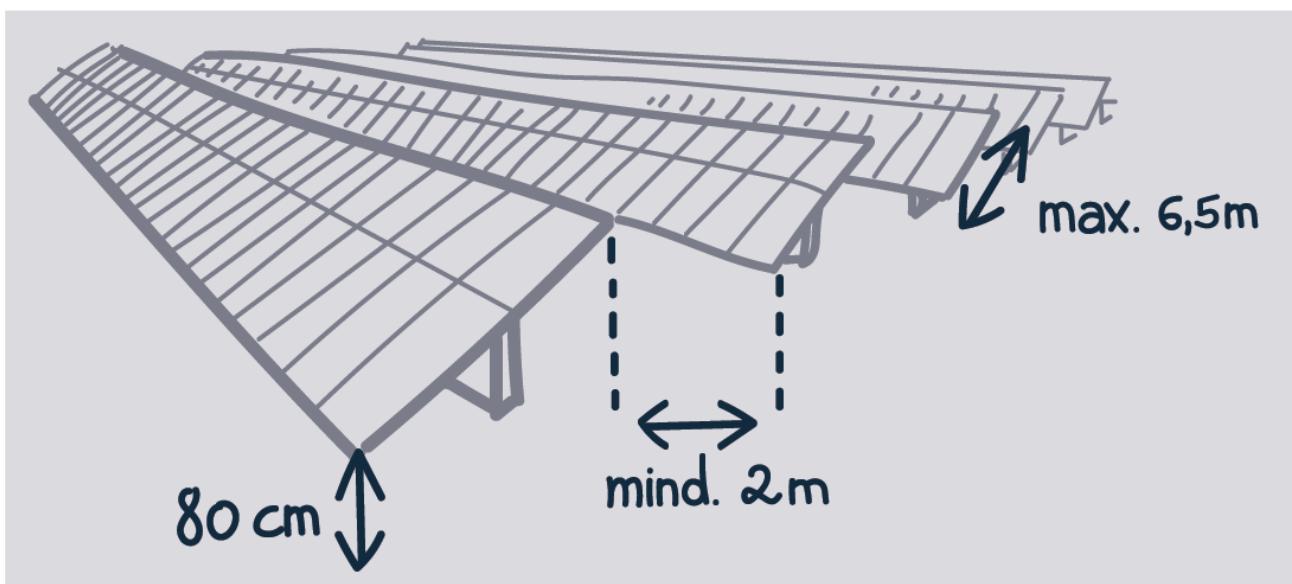


Illustration 11 : Dimensions des installations photovoltaïques au sol respectueuses de la nature et du territoire.
Source : Bundesverband Photovoltaic Austria (PV Austria) / Österreichische Institut für Raumplanung (ÖIR)²³

²³ Bundesverband Photovoltaic Austria (PV Austria) / Österreichische Institut für Raumplanung (ÖIR), Natur- und raumverträglich eingefügt: Photovoltaik in der Landschaft - Planungsleitlinie für PV-Freiflächenanlagen mit Weitsicht für Umwelt und Raum, Februar 2022

Intégration dans le paysage (aux niveaux esthétique et structurel)

L'impact des installations photovoltaïques au sol sur le paysage dépend fortement de la topographie du terrain. Dans les paysages plats, même les installations de grande surface pourraient par exemple être intégrées discrètement dans le paysage grâce à des haies existantes ou nouvellement plantées sur les bords visibles, en raison de leur hauteur généralement très faible, ou être à peine perceptibles sur la ligne d'horizon à seulement quelques centaines de mètres de distance. Sur les collines et dans les vallées, le paysage existant doit être davantage pris en compte lors de la conception de l'installation photovoltaïque. L'installation doit donc toujours s'orienter vers les éléments paysagers et les structures de biotopes existants ainsi que vers la ligne d'horizon. Afin de préserver l'échelle du paysage, les installations photovoltaïques de grande surface sont regroupées en segments individuels espacés les uns des autres.

Les effets d'éblouissement et de réflexion doivent être minimisés par l'utilisation de matériaux peu réfléchissants ainsi que par des plantations faisant de l'ombre à la vue et, le cas échéant, par l'adaptation de l'orientation et de l'inclinaison des modules.



Illustrations 12, 13, 14, 15 : Structures vertes entre et autour des rangées de panneaux photovoltaïques et le pâturage comme utilisation secondaire. Sources : Bayerisches Landesamt für Umwelt et Bundesverband Neue Energiewirtschaft²⁴

²⁴ Bayerisches Landesamt für Umwelt, Praxis-Leitfaden für die ökologische Gestaltung von Photovoltaik-Freiflächenanlagen, Januar 2014 / Bundesverband Neue Energiewirtschaft, Solarparks - Gewinne für die Biodiversität, November 2019

Mesures de protection des vestiges archéologiques potentiels

Bien que les installations photovoltaïques n'aient qu'une emprise minime sur le sous-sol, il convient de rappeler que les dispositions légales usuelles relatives à la sauvegarde des biens culturels archéologiques s'appliquent lors de la planification et de la réalisation de ces projets. De plus, un certain nombre de mesures peut notamment être pris afin de minimiser l'impact direct sur les potentiels vestiges.²⁵

Mesures de protection, préservation et d'amélioration de la biodiversité

Afin d'intégrer au mieux la surface de l'installation dans l'environnement et d'améliorer la biodiversité locale et l'habitat, il convient de tenir compte de l'utilisation précédente, de l'état initial et du contexte environnant de la surface lors de la mise en place de mesures. La définition d'objectifs de développement écologique concrets (p.ex. espèces-cible) aide à décider des mesures les plus appropriées pour garantir la compatibilité avec la nature sur les surfaces photovoltaïques.

Les mesures appropriées pour le maintien et l'amélioration de la fonctionnalité écologique locale s'orientent aussi bien sur le site que sur les dimensions de l'installation et peuvent par exemple inclure :

- Le maintien des éléments structurels existants tels que les haies, les rangées d'arbres et les buissons et arbres solitaires.
- L'installation de nouveaux éléments structurels tels que des haies, des arbustes isolés, mais aussi des nichoirs à oiseaux, des tas de bois mort, des tas de pierres ou des surfaces pionnières sèches ou humides.
- La perméabilité à la faune et la végétalisation partielle des clôtures par des structures de haies écolo-giquement fonctionnelles.

Lors de la création de nouveaux espaces, il convient d'utiliser des semences indigènes et adaptées à la région afin de préserver au mieux les espèces végétales locales et les populations animales qui s'y sont adaptées. Il convient de veiller à une éventuelle propagation de néophytes envahissantes, en particulier pendant la phase de reconstitution de la végétation.

Gestion des surfaces : exploitation extensive et concept d'entretien écologiquement adapté

Il est important de prendre en compte la durée effective de lumière/ensoleillement sous les panneaux afin de prendre des mesures adéquates et qui ont une réelle efficacité écologique et/ou agricole. Les panneaux créent des microclimats sous les surfaces couvertes en abaissant les températures au sol d'une part et en créant des îlots de chaleur sur les panneaux pouvant potentiellement impacter la faune aérienne d'autre part. Il est primordial d'éviter au maximum la fragmentation des habitats en gardant une interconnexion entre les milieux autant pour la flore que la faune.

Les surfaces sous les modules ou les espaces entre les rangées de modules et les clôtures doivent faire l'objet d'une gestion spécifique afin de répondre à l'exigence de maintien ou d'augmentation de la fonctionnalité locale. Elle comprend des mesures à court et à long terme selon la durée prévue de l'exploitation de

²⁵ À titre d'exemple de bonnes pratiques, on peut consulter le document : NEOEN, Note technique – Adaptation du projet solaire aux enjeux archéologiques, Paris, 29 juillet 2021

l'installation, c'est-à-dire un suivi ciblé, de sorte que la contribution à la biodiversité soit toujours présente, même après plusieurs années. Les surfaces anciennement agricoles offrent par exemple un grand potentiel pour une exploitation extensive des prairies ou un pâturage extensif.

En particulier au cours de la première année suivant la construction de l'installation, il convient de veiller à ce que la végétation cible puisse se développer de manière adéquate grâce à des mesures d'entretien appropriées (biotopes pionniers, fleurs sauvages etc.). Comme alternative à la gestion par fauchage, le maintien de l'ouverture des surfaces peut être assuré par un pâturage extensif. Le pâturage peut constituer une mesure d'entretien simple et peu coûteuse. Outre les moutons, le pâturage peut également être effectué avec des poules ou des oies, les poulaillers nécessaires étant construits de manière mobile en fonction de la taille de la surface et déplacés tous les 10 à 14 jours à l'intérieur de l'installation afin d'exploiter des sections individuelles. Cela offre l'avantage d'un prélèvement irrégulier de la végétation, ce qui permet de conserver suffisamment de zones de repli si la densité d'occupation n'est pas trop élevée.

Si le concept de l'installation le permet, les surfaces intermédiaires peuvent devenir des habitats attrayants pour les abeilles sauvages grâce à une exploitation par tronçons ou à des jachères de prairie et des bandes fleuries. Le cas échéant, elles peuvent être utilisées pour l'installation de colonies d'abeilles mellifères.

Perméabilité de l'installation

Pour maintenir la perméabilité du site pour les animaux, il faut idéalement renoncer à une clôture. Lorsque cela n'est pas possible, la perméabilité pour les petits mammifères et les amphibiens est assurée en surélevant la clôture (valeur indicative : 20 cm au-dessus du niveau du sol) ou en augmentant la taille des mailles dans la zone proche du sol. Pour protéger les animaux, on renonce à l'utilisation de fil de fer barbelé. Dès le début de la planification de l'installation, il est tenu compte des corridors de traversée du gibier et des tronçons de mise en réseau des habitats des grands mammifères.

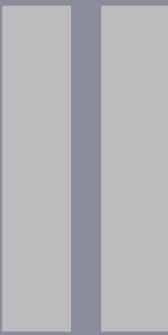
Le réseau de chemins existant pour l'agriculture et les loisirs doit être conservé dans la mesure du possible ou, le cas échéant, déplacé à proximité. En cas de passage à travers ou entre des installations photovoltaïques au sol, l'aménagement de structures vertes le long des chemins peut atténuer le caractère technogène des installations et empêcher les véhicules agricoles de salir les modules. Dans les zones périphériques, il est possible d'aménager des aires de repos et de séjour à thème avec des informations sur l'installation PV et éventuellement des stations de recharge pour vélos électriques alimentées par l'électricité produite par l'installation PV au sol voisine.

Déconstruction et recyclage

Le démantèlement complet de l'installation et la réutilisation de la surface doivent être envisagés dès la phase de planification. Une installation PV au sol est généralement facile à démonter, tous les éléments de l'installation (y compris les fondations et les chemins de câbles) peuvent être retirés sans laisser de traces et en douceur. Rien ne s'oppose donc à une réutilisation sans problème.



En bref, une configuration adaptée de l'installation et une gestion respectueuse du site permettent à un projet PV monté au sol en zone à bâtir d'avoir un impact limité sur le sol et le paysage. Bien adapté, un tel projet peut même favoriser la biodiversité.



II. Analyse des installations existantes



II. Analyse des installations existantes

II.I Analyse des projets photovoltaïques montés au sol en zone à bâtir réalisés en Suisse

Le nombre de (grandes) installations photovoltaïques montées au sol est actuellement limité en Suisse. Les projets réalisés en Suisse se trouvent principalement dans les aires d'activités industrielles et commerciales faisant partie des zones à bâtir.

La liste des installations de production d'électricité publiée par l'Office fédéral de l'énergie²⁶ permet de faire une analyse des installations photovoltaïques réalisées en Suisse et dans le canton de Fribourg. Dans cette liste, les installations PV montées au sol font, en principe, partie de la catégorie des installations dites « isolées » (en allemand « freistehend »).

Afin de trouver les emplacements de ces installations, la liste des installations de production d'électricité publiée par l'Office fédéral de l'énergie²⁷ a été analysée. Dans cette liste, les installations PV montées au sol font partie de la catégorie des installations dites « isolées ». **L'analyse montre que les installations isolées sont rares, car leur part au niveau national et cantonal est inférieure à 1 %, aussi bien en termes de nombre d'installations que de puissance installée.**

		
	Suisse	Canton de Fribourg
Nombre d'installations	190'911	12'773
Nombre d'installations isolées	868	42
Part « isolée »	0,45 %	0,33 %
Puissance globale de toutes les installations	4'444'026 kW	252'165 kW
Puissance des installations isolées	24'997 kW	510 kW
Part « isolée »	0,56 %	0,20 %

Une analyse sommaire de cette liste (focalisant les plus grandes installations suisses et fribourgeoises et quelques installations choisies) montre que i) la plupart des installations PV isolées est liée à des infrastructures (p.ex. aires de stationnement, STEP), ii) une partie relativement modeste est montée au sol en zone à bâtir non construite et iii) qu'une partie des installations n'a pas été correctement saisie, c.-à-d. des installations intégrées et ajoutées aux bâtiments se trouvent par erreur dans la catégorie isolée.

²⁶ Source: <https://opendata.swiss/fr/dataset/elektrizitasproduktionsanlagen>

²⁷ Source: <https://opendata.swiss/fr/dataset/elektrizitasproduktionsanlagen>

Une série d'illustrations présente des exemples aboutis et leur contexte.



Illustration 16 : La plus grande installation photovoltaïque montée au sol (7,7 MW) a été inauguré le 8 septembre 2023 à Cressier (NE). L'installation a été réalisée sur une surface d'environ 47'000 m² du site industriel de VARO Energy Group affichant la nouvelle génération de technologies et ressources énergétiques. Environ 5% de la surface sera consacrée à des innovations technologiques conduites par le CSEM (Centre suisse d'électronique et de microtechnique, Neuchâtel). Le centre étudiera les avantages et les inconvénients de diverses configurations d'installation et technologies, afin d'augmenter la production d'électricité et de réduire les coûts d'entretien. Photo aérienne : map.geo.admin.ch.



Illustration 17 : Installation photovoltaïque de 6,03 MW au chemin de Bornalet à Payerne (VD), mise en service le 10 septembre 2015. L'installation a été réalisée dans le cadre du projet Solarpayerne et se situe en zone

industrielle. La surface se monte à environ 38'000 m² et le terrain reste constructible. Dans l'hypothèse où des entreprises devaient s'implanter sur le site, les modules photovoltaïques pourraient être installés sur les toits des nouveaux bâtiments. Photo aérienne : map.geo.admin.ch.

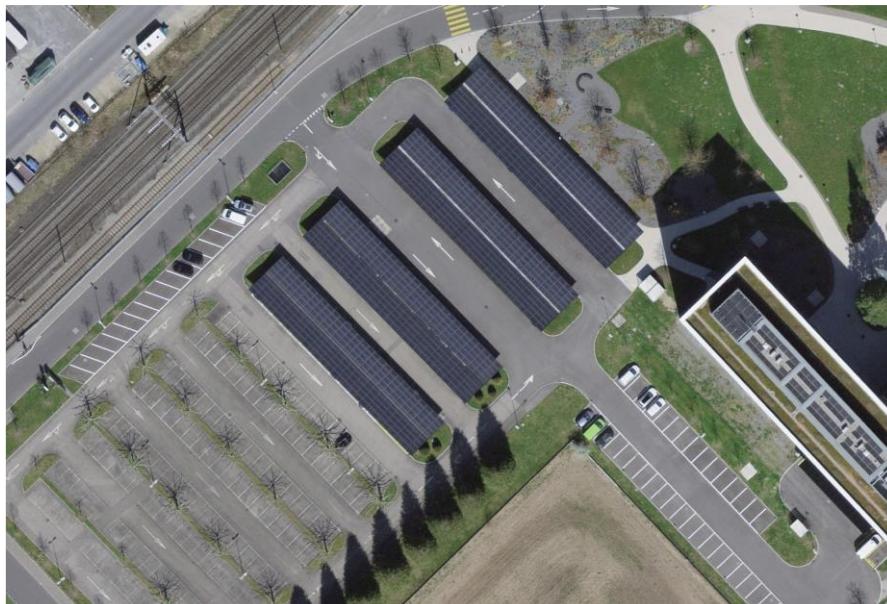


Illustration 18 : Installation photovoltaïque de 328 kW à la Zugerstrasse 13 à Ebikon (LU), mise en service le 15 mars 2019. L'installation est composée de toits creux sur le parking de l'entreprise Schindler Aufzüge AG et couvre environ 5% du courant consommé sur le campus. Photo aérienne : map.geo.admin.ch.

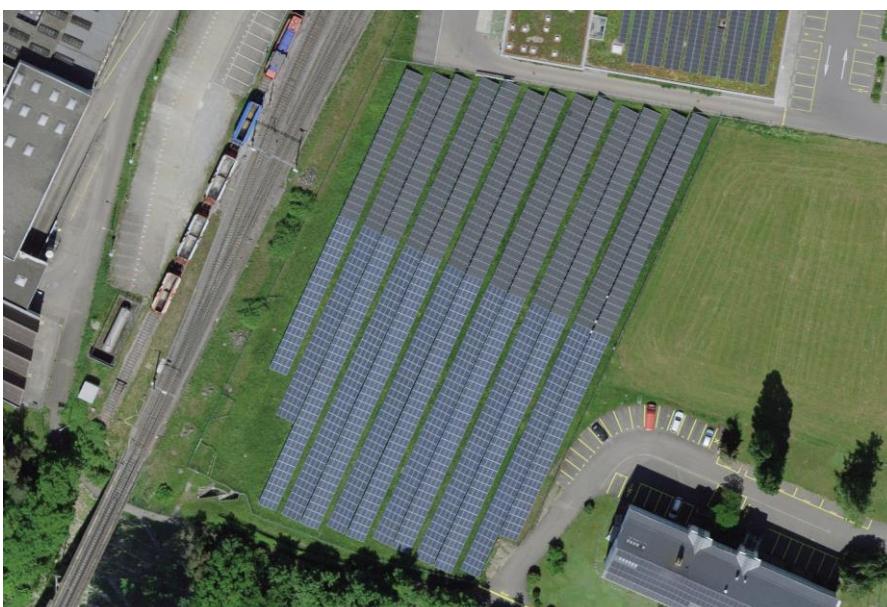


Illustration 19 : Installation photovoltaïque de 801 kW à la Bauelenzelgstrasse 20 à Eglisau (ZH), mise en service le 9 avril 2014. Elle a été réalisée en zone d'activités et sert d'exemple dans la Directive solaire du canton de Zurich pour ce genre d'installations pour lesquelles la procédure a été fortement simplifiée (une annonce auprès des autorités est suffisante). Les modules photovoltaïques sont orientés est-ouest. Photo aérienne : map.geo.admin.ch.



Illustration 20 : Installation photovoltaïque de 410 kW dans la zone industrielle La Glacière 1 aux Verrières (NE), mise en service le 30 décembre 2012. L'installation a été réalisée sur le site de l'entreprise Biacryl. Photo aérienne : map.geo.admin.ch.



Illustration 21 : Installation photovoltaïque de 332 kW à la Schönau à Baar (ZG), mise en service le 27 octobre 2020. L'installation a été posée sur un revêtement dur du site de la sous-station Altgasse gérée par Wasserwerke Zug et Axpo. Les modules photovoltaïques sont orientés est-ouest. Photo aérienne : map.geo.admin.ch.



Illustration 22 : Installation photovoltaïque de 305 kW à la Route de Coeuve 3 à Courtemaîche (JU) , mise en service le 18 novembre 2022. L'installation a été réalisée sur le site du Syndicat d'alimentation en eau des communes de la Haute-Ajoie ; la plus grande partie de la parcelle est classée « prairie extensive ». Photo aérienne : map.geo.admin.ch.

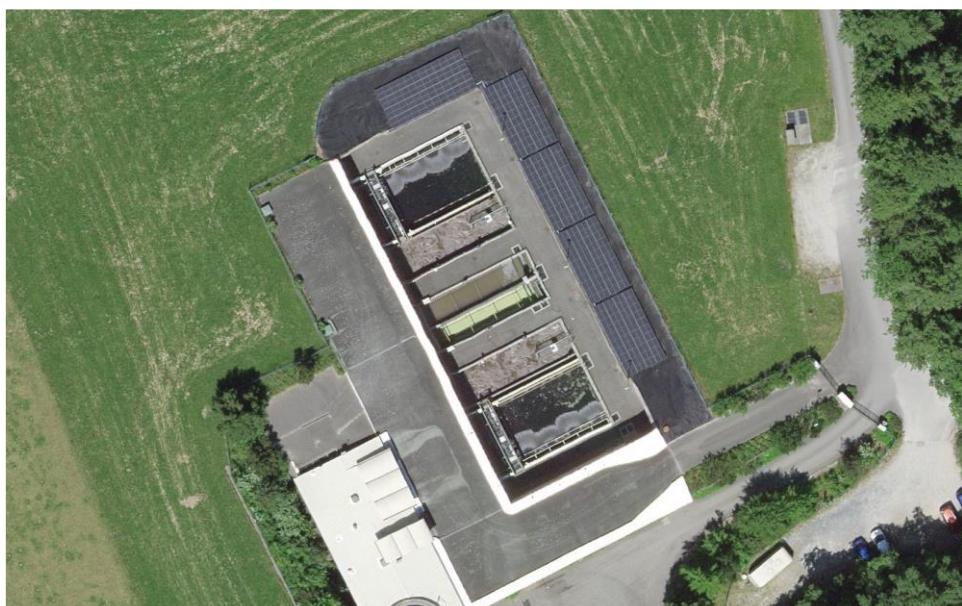


Illustration 23 : Installation photovoltaïque de 78 kW à la Sensematt 100 à Zumholz (Plaffeien), mise en service le 10 mai 2022. Il s'agit de la plus grande installation photovoltaïque « isolée » montée au sol dans le canton de Fribourg. Elle complète la production d'électricité sur le site de la STEP Guggersbach. Photo aérienne : map.geo.admin.ch



Illustration 24 : Installation photovoltaïque de 14 kW à la Route de Pfaffenwil 10 à Marly, mise en service le 27 mai 2021. Il s'agit de la troisième installation « véritablement » montée au sol la plus grande dans le canton de Fribourg. Faute de surfaces aptes sur le bâtiment, le système photovoltaïque est posé sur un talus du jardin. Comme d'autres installations montées au sol dans le canton de Fribourg, elle se trouve en zone résidentielle à faible densité. Photo aérienne : map.geo.admin.ch.



En bref, l'analyse des installations photovoltaïques montées au sol en Suisse montre que : i) leur part est relativement faible avec moins de 1 % tant en puissance installée qu'en nombre absolu, et ii) qu'il existe pourtant plusieurs approches et opportunités intéressantes pour la production d'électricité solaire sur des surfaces en zone à bâtir ou attenantes aux infrastructures.

II.II Facteurs favorables

La liste des installations de production d'électricité publiée par l'Office fédéral de l'énergie²⁸ indique que la part des installations photovoltaïques montées au sol est en-dessous de 1 % des installations photovoltaïques réalisées en Suisse et dans le canton de Fribourg, tant en puissance installée qu'en nombre absolu. Les facteurs clés pour réussir une installation photovoltaïque montée au sol identifiés à travers cette analyse et des entretiens avec des acteurs sur le marché sont :



Surface disponible et / ou compatible :

Le cadre légal a été – et l'est toujours malgré les modifications apportées ces dernières années – très limitatif concernant les installations sur les « champs libres » hors zone à bâtir. Pour les zones à bâtir, le cadre légal vise en principe leur développement dans un délai de 15 ans. En conséquence, rares sont les zones à bâtir qui resteront « en jachère » pour une période suffisamment longue permettant d'y déployer une installation photovoltaïque. Le premier facteur favorable est donc la disponibilité d'une surface en zone à bâtir i) libre pour une durée plus longue (au moins une dizaine d'années) et ii) compatible avec l'utilisation actuelle ou future.



Motivation des acteurs / propriétaires :

Une grande partie des installations est motivée par les acteurs locaux (fréquemment les propriétaires) qui perçoivent l'opportunité qu'offre une utilisation photovoltaïque permanente ou temporaire.

Le premier mobile est souvent le gain en image avant la rentabilité purement financière.



Rentabilité :

Les grandes installations photovoltaïques montées au sol sont normalement très intéressantes au niveau des coûts d'investissement (CHF 1'000.- par kW, parfois moins). Sans autoconsommation, la rentabilité dépend en grande partie de la commercialisation du courant produit. Les petites installations photovoltaïques montées au sol (p.ex. dans les zones résidentielles) ou les installations intégrées dans les infrastructures liées au stationnement représentent fréquemment des coûts deux à trois fois supérieurs. La rentabilité peut tout de même être attendue grâce à la consommation propre sur place et, selon le cas de figure, à la multifonctionnalité (p.ex. meilleur confort sur les parkings). Les tarifs actuels en vigueur (2024) pour le courant injecté et le courant acheté sont particulièrement favorables mais rien ne garantit que ces tarifs perdurent.



Faisabilité technique :

En plus des avantages économiques d'une grande installation photovoltaïque, les avantages techniques sont à souligner. Dans bien des pays, ces installations sont fréquentes et réalisées de manière efficace. S'agissant de zones à bâtir, les coûts imputés au raccordement au réseau sont limités car une partie des infrastructures sont déjà existantes.

La réalisation d'une grande installation photovoltaïque n'est pas seulement avantageuse au niveau financier mais aussi technique. Dans bien de pays, ces installations sont des réalisations standard et effectuées de manière efficiente. Le raccordement au réseau peut être très coûteux mais,

²⁸ Source: <https://opendata.swiss/fr/dataset/elektrizitasproduktionsanlagen>

s'agissant des zones à bâtir, une bonne partie des infrastructures nécessaires est déjà existante ou à réaliser lors du développement des zones concernées. La complexité technique est plus élevée pour les sites et / ou systèmes spéciaux (p.ex. terrain « libre » le long des infrastructures routières ou aire de stationnement) mais les coûts supplémentaires peuvent être compensés par la consommation propre ou d'autres plus-values / services.



Complémentarité :

Même si la production d'électricité solaire est la fonction première des surfaces accueillant des installations photovoltaïques montées au sol, la configuration du système et la gestion des surfaces bien adaptées aux sites permettent de bénéficier d'autres utilisations et avantages comme p.ex. le pâturage, l'herbage ou la biodiversité. D'autres installations comme les carports solaires sont par défaut multifonctionnelles.



En bref, la disponibilité des surfaces pour une durée d'exploitation suffisante, la présence d'acteurs et de propriétaires motivés ainsi que la rentabilité sont les facteurs-clés pour réaliser un projet photovoltaïque monté au sol.



III. Conclusion et recommandations



III. Conclusion et recommandations

Le Service de la construction et de l'aménagement (SeCA) a mis à disposition les données brutes des zones à bâtir mais pas encore construites (état des données 2019). Elles couvrent une surface d'environ 24 km².

Espaces libres de zone à bâtir (Nombre par taille)

Taille	Nombre
> 200'000 m ²	1
100'000 m ² – 200'000 m ²	5
50'000 m ² – 100'000 m ²	16
10'000 m ² – 50'000 m ²	295
5'000 m ² – 10'000 m ²	441
< 5000 m ²	11'342

L'analyse du tableau permet d'émettre l'hypothèse que le PV monté au sol en zone à bâtir peut contribuer de manière significative à atteindre les objectifs énergétiques et climatiques. Une surface de 400'000 m² utilisée pour le PV monté au sol permettrait de produire annuellement environ 60 GWh d'électricité solaire. Cela correspond à 10% de l'objectif fixé par le canton de produire 600 GWh d'électricité solaire d'ici 2035.

Le rapport présente les aspects pertinents aux niveaux légaux, technologiques, énergétiques et écologiques en lien avec les projets PV monté au sol en zone à bâtir. Un tour d'horizon de tels projets aboutis en Suisse montre qu'il y a plusieurs approches et opportunités intéressantes pour la production d'électricité solaire.

Afin de capter le potentiel du PV monté au sol, le canton de Fribourg peut soutenir les mesures suivantes :

- ✓ Analyse détaillée des 22 plus grandes surfaces (> 50'000 m²), en particulier leur disponibilité sur une période de 8 à 15 ans. Pour garantir l'utilisation des panneaux solaires après un éventuel projet de construction, le transfert des panneaux photovoltaïques du sol vers, par exemple, le toit ou une autre zone à bâtir, peut être envisagé dès la conception du projet PV monté au sol.
- ✓ Etablir la nouvelle directive solaire qui permet de préciser la procédure pour le PV monté au sol pour les différents types de zones à bâtir.
- ✓ Mettre à disposition une notice spécifique pour le PV monté au sol en zone à bâtir qui peut orienter les projets en la matière et ceci à deux niveaux : a) les installations transitoires / temporaires sur les surfaces pas encore construites et b) les installations « permanentes » sur les surfaces « libres » des parcelles déjà construites.
- ✓ Informer de manière pro-active les potentiels déclencheurs de projets (notamment les propriétaires des zones à bâtir qui ne sont pas construites à moyen ou long terme) pour stimuler le développement du PV monté au sol, tout en respectant les critères pertinents en la matière.
- ✓ Impliquer et encourager les communes dans le processus PV monté au sol.
- ✓ Soutenir le conseil aux communes et propriétaires intéressés.
- ✓ Soutenir les projets pilotes. Ceci contribuera à l'acquisition d'expérience qui permet d'affiner les connaissances aux niveaux technologique, énergétique et écologique.

Bibliographie

- ADEME, Photovoltaïque, sol et biodiversité - Enjeux et bonnes pratiques, mars 2023
- Association des entreprises électriques suisses, <https://www.strom.ch/fr/avenir-energetique-2050/photovoltaque-alpin-et-energie-eolienne-pour-un-approvisionnement-hivernal>, état 26 février 2023
- Baden-Württemberg, Verordnung zu den Pflichten zur Installation von Photovoltaikanlagen auf Dach- und Parkplatzflächen (Photovoltaik-Pflicht-Verordnung - PVPf-VO) vom 11. Oktober 2021
- Baudepartement Kanton Schaffhausen / Basler & Hofmann, Solarstromanlagen auf Infrastrukturanlagen im Kanton Schaffhausen, 28. Mai 2021
- Baudirektion des Kantons Zürich / ZHAW, Photovoltaik-Potenzial auf Infrastrukturbauten und bei weiteren sehr grossen Anlagen im Kanton Zürich, 20. Juni 2023
- Bayerisches Landesamt für Umwelt, Praxis-Leitfaden für die ökologische Gestaltung von Photovoltaik-Freiflächenanlagen, Januar 2014
- Bern University of Applied Sciences, Three months pilot project 'PV-Bench 23-24 Mont-Soleil', 24 August 2023
- Bundesamt für Energie (BFE), Auswirkungen von Freiflächen-Photovoltaikanlagen auf Biodiversität und Umwelt, 12. November 2021
- Bundesamt für Energie (BFE), Stromspeicherung und Wasserstoff – Technologien, Kosten und Auswirkungen auf das Klima (einschliesslich Aufdatierung der Kosten und Potenziale von Photovoltaik und Windenergie), September 2022
- Bundesamt für Naturschutz, Handbuch für Kommunen, Regionen, Klimaschutzbeauftragte, Energie-, Stadt- und Landschaftsplanungsbüros – Heft 6 Photovoltaik-Freiflächenanlagen - Planung und Installation mit Mehrwert für den Naturschutz, 2019
- Bundesamt für Verkehr (BAV), Photovoltaik und Eigenverbrauch im öffentlichen Verkehr - Energiestrategie 2050 im öffentlichen Verkehr, Dezember 2022
- Bundesverband Neue Energiewirtschaft, Solarparks - Gewinne für die Biodiversität, November 2019
- Canton de Neuchâtel, Evaluation du potentiel PV des infrastructures routières du canton de Neuchâtel, Rapport d'étude, septembre 2023
- Centrales Agrar-Rohstoff Marketing- und Energie-Netzwerk (C.A.R.M.E.N.), Leitfaden Freiflächen-Photovoltaikanlagen, März 2023
- CHUV, Présentation du projet Centre thérapeutique La Brine, décembre 2017
- Conférence des directeurs cantonaux (ENDK), Politique du bâtiment 2050+ (document stratégique), 26 août 2022
- Conseil fédéral, Etude de potentiel de production d'énergie photovoltaïque sur les parois anti-bruit le long des routes nationales et des voies ferrées, 27 octobre 2021
- CSD Ingénieurs, Parc solaire de Payerne - Diagnostic écologique, Rapport de synthèse, 24 août 2015
- CSD Ingénieurs, Parc solaire de Payerne - Diagnostic écologique, Rapport de synthèse, 6 novembre 2018
- Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC), Rapport explicatif concernant la révision de l'ordonnance sur l'aménagement du territoire (installations solaires en dehors des zones à bâtir), septembre 2021
- Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC), Rapport explicatif concernant la révision de l'ordonnance sur l'encouragement de la production d'électricité issue d'énergies renouvelables (OEnE.R, RS 730.03), novembre 2021
- Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC), Rapport explicatif concernant la révision de l'ordonnance sur l'encouragement de la production d'électricité issue d'énergies renouvelables, 30 mars 2022
- Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC), Rapport explicatif concernant la révision de l'ordonnance sur l'énergie, 30 mars 2022

Departement für Inneres und Volkswirtschaft des Kantons Thurgau / Interface, Konzept für einen stärkeren Zubau von grossen Solarstromanlagen auf Dachflächen und Infrastrukturanlagen im Kanton Thurgau, November 2021

DIKE, Raumplanung und Photovoltaik, 2021

Electrosuisse / Swissolar, Photovoltaik: Technik und Infrastruktur, 2019

Energieagentur Rheinland-Pfalz, Rahmenbedingungen für PV-Freiflächenanlagen - Die Rolle der Kommune als Planungsträger und Gestalter, 2021

EnergieSchweiz, Handbuch Photovoltaik bifazial vertikal, 30. November 2023

EnergieSchweiz, Solarstrom auf Infrastrukturanlagen und Konversionsflächen, 23. Juli 2021

EnergieSchweiz, Solarstrom auf Parkplatzüberdachungen, 4. Mai 2022

EnergieSchweiz, «Studie Winterstrom Schweiz» - Was kann die heimische Photovoltaik beitragen?, 25. Januar 2021

Etat de Fribourg, Directive concernant l'intégration architecturale des installations solaires thermiques et photovoltaïques, octobre 2015

Etat de Fribourg, Stratégie photovoltaïque, août 2023

Etat de Fribourg / Service de l'environnement, Plan Climat cantonal - Stratégie et plan de mesures 2021-2026, mai 2021

Fraunhofer ISE, Agri-Photovoltaik: Chance für Landwirtschaft und Energiewende - Ein Leitfaden für Deutschland, April 2022

IEEE / ZHAW, Vertikale bifaziale Module auf Dächern, Bulletin.ch, 30 septembre 2020

IDELE, L'agrivoltaïsme appliqué à l'élevage des ruminants - Guide à destination des éleveurs et des gestionnaires de centrales photovoltaïques au sol, 2021

International Energy Agency (IEA), Net Zero by 2050 - A Roadmap for the Global Energy Sector, May 2021

International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme (IEA-PVPS), Trends in Photovoltaic Applications 2022, 2023

International Energy Agency (IEA), World Energy Outlook 2023, October 2023

Kanton Bern, Tiefbauamt des Kantons Bern, Photovoltaik auf Strasseninfrastrukturen im Eigentum des Kantons Bern - Potentialanalyse, 5. Dezember 2022

Kanton Nidwalden, Schutz- und Nutzungskonzept für die Stromproduktion mit erneuerbaren Energien im Kanton Nidwalden, Mitwirkungsversion Oktober 2022

Kanton Zürich, Leitfaden Solaranlagen – Verfahren und Gestaltung, Dezember 2022

KNE Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende, Kriterien für eine naturverträgliche Gestaltung von Solar-Freiflächenanlagen, 14. September 2021

Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, Installations photovoltaïques au sol - Guide de l'étude d'impact, avril 2011

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Handlungsleitfaden Freiflächenanlagen, September 2019

NEOEN, Note technique – Adaptation du projet solaire aux enjeux archéologiques, Paris, 29 juillet 2021

Neu U., Ismail S., Reusser L., Planifier le développement des énergies renouvelables en tenant compte de la biodiversité et du paysage, Swiss Academies Communication 19, avril 2024

Office fédéral de l'énergie (OFEN), Encouragement des installations photovoltaïques - rétributions uniques et bonus, 23 novembre 2022

Office fédéral de l'énergie (OFEN), Installations photovoltaïques : mieux vaut les installer en montagne ou sur le Plateau ? BFE-Magazin energieplus | Energiemagazin des Bundesamtes für Energie. <https://energieplus.com/2022/01/31/solarstromanlagen-besser-in-den-bergen-oder-im-mittelrand/?translateto=fr>, état 11 avril 2022

-
- Office fédéral de l'énergie (OFEN), Prognos AG/TEP Energy GmbH/Infras AG, Perspectives énergétiques 2050+, Rapport succinct, 26 novembre 2020 (révisé 20 décembre 2021)
- Peschel Tim und Rolf, Photovoltaik und Biodiversität – Integration statt Segregation, in: Naturschutz und Landschaftsplanung, 2023
- Planungsverband Äusserer Wirtschaftsraum München, Standortkonzept für Photovoltaik-Freiflächenanlagen am Beispiel der Stadt Ebersberg, Juli 2022
- PV Austria, Planungsleitlinie für PV-Freiflächenanlagen mit Weitsicht für Umwelt und Raum, Februar 2022
- Service de la statistique (SStat) du canton de Fribourg, Annuaire statistique du canton de Fribourg 2023, 23 décembre 2022
- SolarPower Europe, Agrisolar Best Practices Guidelines Version 1.0, May 2021
- SPF Institut für Solartechnik, Ertragssimulation vertikal montierter bifazialer PV-Module, 15. Februar 2023
- Stadt Wien, Solarleitfaden - Leitfaden für Solaranlagen in Kombination mit Bauwerksbegrünung, 2022
- Stiftung Landschaftsschutz Schutz, Leitfaden für die Beurteilung von Solarenergieanlagen, November 2020
- Streiff Oliver et al, Zur Standortgebundenheit von Solaranlagen ausserhalb der Bauzonen - Eine kritische Würdigung des neuen Art. 32c RPV, in: Jusletter 26. September 2022
- SuisseEnergie, Étude «Électricité hivernale Suisse» - Quelle peut être la contribution du photovoltaïque indigène ? 25 janvier 2021
- SuisseEnergie, Guide des modules bifaciaux, août 2019
- SuisseEnergie, Guide pratique de la consommation propre, version 3.0, mai 2023
- SuisseEnergie, Guide relatif à la procédure d'annonce et d'autorisation pour les installations, juin 2023
- SuisseEnergie, Observation des prix du marché photovoltaïque 2022, 4 juillet 2023
- SuisseEnergie, Photovoltaïque bifacial vertical, Manuel, 30 novembre 2023
- Swissolar, Fiche technique – Photovoltaïque, octobre 2023
- Syn[En]ergy / BMVIT, Synergiepotenziale zwischen Stadtplanungszielen und Photovoltaiknutzung auf urbanen Freiflächen Umweltministerium, 2018
- VESE (pvpower.ch), Carte des installations photovoltaïques réalisées, état 6 novembre 2023
- Wieland Hintz (Bundesamt für Energie), Photovoltaik: Anpassungen auf Stufe Verordnung 2023, Präsentation an der Schweizer PV Tagung 2022, 29./30. März 2022
- Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW), Machbarkeitsstudie Agri-Photovoltaik in der Schweizer Landwirtschaft, September 2022
- Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW), (Winter) Photovoltaik-Potenzial im Kanton Glarus, 23. April 2021