

GUIDE OPÉRATIONNEL

INTÉGRATION ARCHITECTURALE DE CAPTEURS PHOTOVOLTAÏQUES DANS UN CONTEXTE À HAUTE VALEUR PATRIMONIALE

Cully

COMMUNE DE BOURG-EN-LAVAUX
DIRECTION DE L'ÉNERGIE | DGE-DIREN
DIRECTION DE L'ARCHÉOLOGIE ET DU PATRIMOINE | DGIP-MS

AVRIL 2023



GUIDE OPÉRATIONNEL

CULLY

**SUBSTANCES
ARCHITECTES**

Substances architectes sàrl

Rue de la Gare 12
1096 Cully
paulo@substances.ch

GEMETRIS
BUREAU D'ÉTUDES - GÉOMÈTRES BREVETÉS

Gemetris SA
ing. géomètres brevetés
Place du Nord 6
1071 Chexbres
samuel.caillet-bois@gemetris.ch

 **ElectroSol**

électrosol
Spécialiste solaire photovoltaïque
Rue des artisans 2 - cp 34
1148 L'Isle VD
Kilian.Thonney@electrosol.ch

TABLES DES MATIÈRES

1. CONTEXTE, PÉRIMÈTRE ET BUTS DE L'ÉTUDE	11
1.1 PÉRIMÈTRE	12
1.2 BUTS	14
2. BESOINS ET SOLUTIONS TECHNOLOGIQUES	15
2.1 CONDITIONS DE BASE POUR LA PRODUCTION PHOTOVOLTAÏQUE	15
3. APPROCHE GLOBALE ÉNERGIE & PATRIMOINE	17
3.1 STRUCTURE TERRITORIALE ET PÉRIMÈTRE D'ÉTUDE	17
3.2 PLANIFICATION	19
3.3 DIAGNOSTIC DE VISIBILITÉ	19
CONTENUS DU PLAN DE BASE	19
TYPOLOGIE DES VISIBILITÉS	20
3.4 INSTALLATIONS PHOTOVOLTAÏQUES	23
TYPES D'INSTALLATIONS	23
TYPOLOGIE D'IMPLANTATION	24
3.5 DISPOSITION FONDAMENTALES	25
TYPE D'INSTALLATIONS ET TYPOLOGIE D'IMPLANTATION	25
AUTRES DISPOSITIONS	26
INSTALLATION NON ADMISES	26
4. PLANIFICATION D'UN PROJET PHOTOVOLTAÏQUE	27
4.1 LES BASES	27
4.2 LES REQUIS	27
5. CRITÈRES D'ÉVALUATION	29
6. BIBLIOGRAPHIE	30
7. LISTE DES ANNEXES	31
02 CARTE OPÉRATIONNELLE	
02.1 VISIBILITÉ DES TOITURES PAR DEGRÉ – DEGRÉ I	
02.2 VISIBILITÉ DES TOITURES PAR DEGRÉ – DEGRÉ II	
02.3 VISIBILITÉ DES TOITURES PAR DEGRÉ – DEGRÉ III	
03 RECENSEMENT ARCHITECTURAL	
04 ENSOLLEILLEMENT DES TOITURES	
05 PANNEAUX SOLAIRES	
06 TYPES D'INSTALLATIONS PHOTOVOLTAÏQUES	
07.1 MODÉLISATION 5ÈME FAÇADE - TOITURE INTÉGRALE	
07.2 MODÉLISATION 5ÈME FAÇADE - BANDEAU HORIZONTALE - FAÎTE	
07.3 MODÉLISATION 5ÈME FAÇADE - BANDEAU HORIZONTALE - LARMIER	
0.7.4 MODÉLISATION 5ÈME FAÇADE - BANDEAU VERTICALE - VIREVENT	
0.7.5 MODÉLISATION 5ÈME FAÇADE - RECTANGLE ISOLÉ	

PRÉAMBULE

Face à l'urgence climatique, il est crucial d'agir à toutes les échelles afin de limiter l'augmentation de la température moyenne de la planète à 1.5 C° par rapport aux niveaux préindustriels.

À notre échelle, deux axes d'actions sont possibles :

- La réduction de la consommation d'énergie fossile pour diminuer les émissions de gaz à effet de serre (CO2).
- L'augmentation de l'efficacité énergétique afin de limiter la consommation d'énergie.

Pour y parvenir, il est impératif d'accroître la part des énergies renouvelables dans la consommation totale en renforçant notamment la production renouvelable d'électricité. Plusieurs scénarios de fourniture d'énergie renouvelable peuvent être envisagés, tels que la production propre, la souscription à un fournisseur spécialisé, la participation à une société de production ou un mix de ces différentes options.

À Bourg-en-Lavaux, les toitures des bâtiments historiques représentent un potentiel important pour la production d'énergie renouvelable. Comment répondre aux propriétaires de ces biens qui souhaitent participer à la transition énergétique tout en préservant la qualité architecturale de leur patrimoine ? Est-il possible de concilier énergie solaire et culture du bâti ?

Le patrimoine, en raison de sa forte visibilité et de sa connotation émotionnelle, peut être un levier puissant pour encourager et soutenir la transition énergétique. En effet, en intégrant des solutions énergétiques durables dans les bâtiments patrimoniaux, on peut affirmer leur valeur historique et culturelle tout en contribuant à réduire leur impact environnemental. Ainsi, les bâtiments historiques peuvent également jouer un rôle crucial dans la promotion de pratiques durables et respectueuses de l'environnement. De plus, la mise en place de solutions énergétiques durables dans les bâtiments patrimoniaux peut également servir de modèle et d'inspiration pour d'autres bâtiments, contribuant ainsi à la diffusion des bonnes pratiques en matière d'efficacité énergétique et de développement durable. En fin de compte, en utilisant le patrimoine comme levier pour stimuler la transition énergétique, nous pouvons non seulement protéger et valoriser notre patrimoine culturel, mais également contribuer à un avenir plus durable pour tous.

Ces interrogations ont orienté la présente étude, qui vise à examiner l'opportunité de projets photovoltaïques dans un périmètre à haute substance patrimoniale et à évaluer leur faisabilité. L'intégration architecturale, conformément à l'état de la technique en matière d'installations photovoltaïques et aux bases légales, a été prise en compte.

Le bâti historique représente actuellement un important consommateur d'énergie fossile, en raison des matériaux utilisés, des techniques constructives et des systèmes d'exploitation en place. En amont du développement d'un projet de capteurs solaires sur un bâtiment patrimonial, deux réflexions sont nécessaires :

- Il est essentiel pour une commune d'avoir une vision globale de son territoire afin de planifier et d'optimiser l'utilisation des énergies renouvelables, notamment de l'énergie solaire. Pour cela, les autorités communales doivent fixer et communiquer clairement leurs plans et objectifs en matière de production solaire et d'autres sources d'énergie renouvelable. Il est important de prendre en compte l'ensemble du site bâti, y compris les opportunités et les valeurs culturelles et patrimoniales associées. Ces objectifs doivent être intégrés à une stratégie énergétique communale et à des outils d'aménagement adaptés, qu'il s'agisse de l'ensemble de la commune ou de quartiers spécifiques. En prenant en compte ces aspects, la commune peut assurer une transition énergétique réussie tout en préservant et en mettant en valeur son patrimoine architectural et culturel.
- L'établissement d'un concept global pour améliorer le bilan énergétique d'un bâtiment patrimonial tout en respectant les objectifs de conservation est essentiel. Pour cela, il est important de prendre en compte les possibilités qui peuvent avoir un impact direct sur le bien ou non. Ces possibilités incluent notamment l'achat d'énergie verte, la location de panneaux solaires situés sur un autre site, le remplacement des agents énergétiques fossiles par des agents renouvelables, le raccordement à un réseau de chaleur, l'éclairage contrôlé, l'isolation, l'optimisation des équipements et la pose de capteurs solaires.

Il est donc primordial de trouver des solutions énergétiques respectueuses des exigences de la conservation du patrimoine. En effet, ces solutions peuvent permettre d'améliorer significativement le bilan énergétique du bâtiment tout en préservant sa valeur patrimoniale.

L'étude menée en partenariat avec la Direction de l'énergie (DGE-DIREN) et la Direction de l'archéologie et du patrimoine (DGIP-MS) permettra donc d'examiner l'opportunité de projets photovoltaïques dans un périmètre à haute substance patrimoniale. L'objectif est d'évaluer la faisabilité de tels projets en prenant en compte l'intégration architecturale en accord avec l'état de la technique en matière d'installations photovoltaïques et les bases légales. Ce partenariat permet d'assurer une approche globale prenant en compte les enjeux énergétiques, environnementaux, culturels et patrimoniaux de la commune. Le but est de garantir une gestion durable de l'énergie et du patrimoine pour les générations futures.

L'étude est composée des éléments suivants :

- > **01. GUIDE OPÉRATIONNEL** Il s'agit du présent document structuré en 5 chapitres.
- > **02. CARTE OPÉRATIONNELLE** Qui attribue aux toitures du périmètre d'étude un degré de visibilité qui varie de visibilité très haute à faible, elle intègre également les vues iconiques ainsi que l'identification du réseau piétonnier principal.
- > **02.1- 02.3. VISIBILITÉ DES TOITURES, PAR DEGRÉ** Il s'agit de la décomposition de la carte opérationnelle par degré de visibilité.
- > **03. RECENSEMENT ARCHITECTURAL** Carte permettant d'identifier le patrimoine architectural selon le degré de protection.
- > **04. ENSOLLEILLEMENT DES TOITURES** Carte de performance de l'ensolleillement des toitures.
- > **05. PANNEAUX SOLAIRES** Vision locale des panneaux solaires déjà installés en février 2023.
- > **06. TYPES D'INSTALLATIONS PHOTOVOLTAÏQUES.** Tableau comparatif des installations par degré de visibilité, les recommandations minimales issues de la présente étude concernant: le type d'installations et la typologie d'implantation des panneaux sur la toiture concernée. Estimation des prix selon état de la technique en 2023.
- > **071-07.5. MODELISATION DE LA 5ÈME FAÇADE.** Il s'agit de coder l'intégration chromatique sous forme de modélisation de principe prenant en compte pour chaque type d'implantation de capteurs du tableau 06, un visuel d'intégration 3D/axonométrie : capteurs, tuiles, ferblanterie, etc...

Il est crucial que les propriétaires fonciers impliqués contribuent à cette évolution, que ce soit de manière individuelle ou collective. Si les bâtiments se trouvent dans un périmètre historique, il est essentiel d'accorder une attention particulière à l'intégration architecturale. Il ne suffit pas d'examiner les adaptations directes apportées au bâti, telles que son enveloppe ou les possibilités d'installation de systèmes de production d'énergie, mais il est également nécessaire de concevoir et d'élaborer en premier lieu un concept énergétique.

Dans certains cas, il est possible d'atteindre des normes énergétiques élevées en effectuant des travaux qui n'affectent pas le bâtiment historique lui-même. En ce qui concerne la consommation d'énergie issue de la production photovoltaïque, il est essentiel de rechercher une optimisation, mais également de favoriser l'autoconsommation de l'énergie produite ainsi que les groupements d'autoconsommateurs. Cette étude est axée sur les capteurs photovoltaïques, mais les réflexions développées dans ce guide peuvent également s'appliquer à l'installation de panneaux thermiques ou hybrides.

Du point de vue technique, les réflexions sont basées sur l'état actuel de la technologie en janvier 2023, mais il est prévu une évolution rapide dans les années à venir en termes de technologie, de réseau et de coûts d'installation. Cependant, le cadre géographique et patrimonial du périmètre d'étude est plutôt statique et ne devrait pas subir d'évolutions.

1. CONTEXTE, PÉRIMÈTRE ET BUT DE L'ÉTUDE

Afin d'exploiter efficacement l'énergie solaire, il est crucial de privilégier les sites qui peuvent accueillir des installations de grande envergure tout en s'intégrant harmonieusement dans leur environnement. Comme le souligne le rapport de l'OFC intitulé «Concilier énergie solaire et culture du bâti», ce qui peut être pertinent pour une construction individuelle ne l'est pas nécessairement à l'échelle communale.

Les Autorités communales et cantonales sont pleinement conscientes de ces enjeux, ainsi que du potentiel solaire important que recèle Bourg-en-Lavaux dans divers secteurs. Dans le cadre de la politique suisse de transition énergétique et de la sensibilité architecturale des centres historiques, elles souhaitent, à travers cette étude ciblée sur un périmètre à haute valeur patrimoniale, déterminer le potentiel des toitures pour la production d'énergie photovoltaïque. Le premier objectif est d'établir clairement les contraintes et les possibilités réelles pour les demandeurs, afin de trouver le juste équilibre entre intégration et efficacité.

Le groupe de travail est composé des Autorités et des prestataires suivants :

**COMMUNE DE
BOURG-EN-LAVAU**

Jean-Yves Cavin
Conseiller municipal en charge de l'urbanisme

Evelyne Marendaz Guignet
Conseillère municipale en charge du patrimoine bâti

ÉTAT DE VAUD

Anne-Valérie Nahrath
Direction de l'énergie DGE-DIREN,
Cheffe de section Conformité énergétique des bâtiments

Alberto Corbella
Direction de l'archéologie et du patrimoine DGIP-MS,
Conservateur, adjoint du Conservateur cantonal

En fin d'année 2022 un groupement de mandataire est conjointement mandaté, il est composé de :

**SUBSTANCES
ARCHITECTES SÀRL**

Paulo Meireles
Architecte MA HES/BFH SIA REG A

Justine Rognon
Architecte stagiaire EPFL

GEMETRIS SA

Pascal Jourdan
Ingénieur géomètre breveté

Samuel Caillet-Bois
Ingénieur HES en géomatique

ELECTRO-SOL SA

Kilian Thonney
Technicien ES
spécialiste solaire-photovoltaïque

1.1 PÉRIMÈTRE

Le périmètre général de l'étude de Bourg-en-Lavaux comprend huit villages: Cully, Riex, Epesses, Grandvaux, Aran, Montagny, Lalles et Chatagny, tous inscrits à l'Inventaire fédéral des sites construits d'importance nationale à protéger en Suisse, également appelé ISOS avec un objectif de sauvegarde A. Bourg-en-Lavaux est un site d'une importance nationale reconnue par le Conseil fédéral pour ses qualités exceptionnelles, qui comprennent des aspects topographiques, territoriaux et historico-architecturaux. L'ISOS considère l'ensemble du site plutôt que des caractéristiques spécifiques, en prenant en compte la qualité globale du tissu bâti et de son organisation spatiale ainsi que le rapport entre le bâti et son environnement proche et lointain. L'ensemble des sites ISOS étudiés s'inscrivent dans l'Inventaire fédéral des paysages (IFP, objet Lavaux 1202).

L'inscription de Bourg-en-Lavaux au patrimoine mondial de l'UNESCO reconnaît la valeur universelle de ce site, qui représente un exemple remarquable de l'interaction entre l'homme et son environnement naturel. Les villages, situés sur des pentes raides au bord du lac Léman, sont caractérisés par des vignobles en terrasses, des ruelles médiévales, des églises et des maisons traditionnelles en pierre.

L'ISOS subdivise les localités en différentes entités, comme les périmètres, les ensembles, les périmètres environnants et les échappées dans l'environnement. Chaque subdivision se voit attribuer un objectif de sauvegarde, soit la sauvegarde de la substance, de la structure ou du caractère pour le tissu bâti et la sauvegarde de l'état existant ou des caractéristiques pour les environnements, afin de proposer des solutions de conservation ou de valorisation. La mise en œuvre de ces objectifs permet de préserver les caractéristiques remarquables de la localité, ainsi que son importance nationale. Le relevé ISOS propose une subdivision pour le territoire de Cully, qui est présentée ci-dessous.

Entités du relevé ISOS de la commune de Bourg-en-Lavaux, village de Cully.

Office fédéral de la culture OFC, Section patrimoine culturel et monuments historiques, octobre 2012



Le périmètre d'étude de Cully correspond aux périmètres (P)1, 2 du relevé de l'Inventaire fédéral des sites construits d'importance nationale à protéger en Suisse (ISOS ; RS 451.12).

À l'intérieur de ce découpage proposé par le relevé ISOS du village de Cully, – 2ème version, de octobre 2012 – le périmètre d'étude est celui figuré en couleur sur la carte ci-contre, accompagné des chiffres: 1. Ces secteurs concernent:

L'objectif de sauvegarde «A» préconise la sauvegarde de la substance. Conservation intégrale de toutes les constructions et composantes du site, de tous les espaces libres ; suppression des interventions parasites.

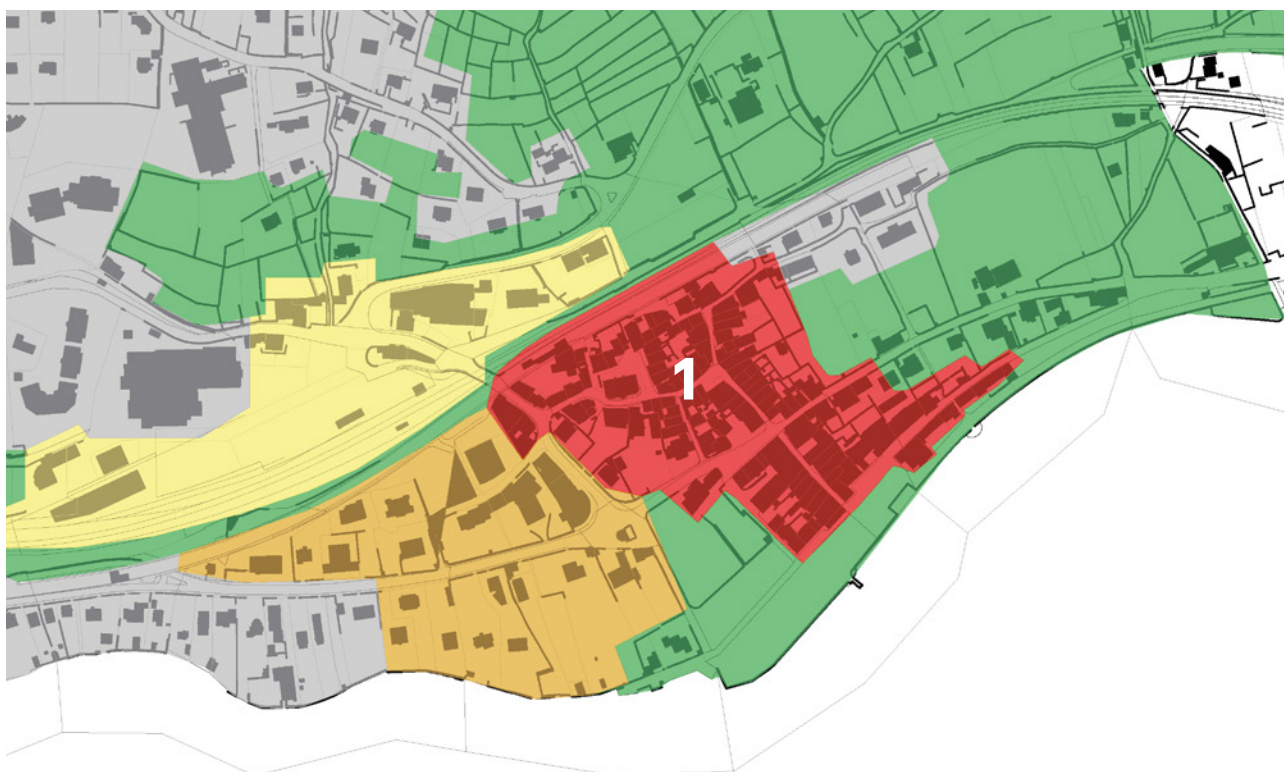
L'objectif de sauvegarde «B» préconise la sauvegarde de la structure. Conservation de la disposition et de l'aspect des constructions et des espaces libres ; sauvegarde intégrale des éléments et des caractéristiques essentiels pour la conservation de la structure

Objectifs de sauvegarde de l'inventaire ISOS au sein du périmètre d'étude défini:



(P) 1 Noyau historique structuré en deux parties, l'une centrée sur l'église réf., l'autre descendant en direction des rives du lac et formant une structure orthogonale, bâti contigu et en îlot composé de maisons vigneronnes avec dôme remontant au 16e–19e s.

Objectif de sauvegarde A.



1.2 BUTS

En mobilisant une équipe pluridisciplinaire composée d'autorités, de maîtres d'œuvre et de mandataires, cette étude vise à fournir des résultats concrets et pragmatiques. Elle répond à la demande de la commune de pouvoir anticiper et encadrer les demandes d'installation de panneaux photovoltaïques dans le périmètre historique protégé. Plutôt que de viser une maximisation de la production d'énergie solaire, cette étude vise une optimisation en harmonie avec les enjeux patrimoniaux.

Ainsi, cette étude permettra de doter la commune d'un outil d'aide à la décision pour accompagner l'installation de panneaux photovoltaïques, tout en permettant aux porteurs de projet de connaître le potentiel solaire réellement exploitable sur leurs propriétés.

Cet outil sera évolutif et pourra prendre en compte les évolutions rapides des technologies et des besoins, grâce à une mise à jour périodique du volet technique (annexe 06).

En résumé, les objectifs de l'étude intitulée «Intégration architecturale de capteurs photovoltaïques dans un contexte à haute valeur patrimoniale» sont les suivants :

- > Établir un inventaire des possibilités d'intégration de l'énergie solaire dans un secteur historiquement sensible.
- > Concevoir un outil pratique permettant aux autorités de répondre de manière coordonnée et équitable aux demandes légitimes des propriétaires souhaitant exploiter l'énergie solaire produite sur leur propriété en auto-consommation.

2. BESOINS ET SOLUTIONS TECHNOLOGIQUES

INSTALLATIONS SOLAIRES

Il est possible d'utiliser l'énergie solaire de différentes manières dans les bâtiments. Les trois formes les plus courantes sont :

- > Le photovoltaïque : qui consiste à utiliser des cellules en silicium pour transformer la lumière solaire en énergie électrique.
- > Le thermique : qui utilise des capteurs pour absorber la chaleur du rayonnement solaire. L'énergie produite est ensuite utilisée pour alimenter le système de chauffage ou l'eau chaude sanitaire.
- > Les systèmes hybrides : qui combinent les deux méthodes précédentes. Dans ce cas, les cellules photovoltaïques sont refroidies par de l'eau, ce qui entraîne une production accrue d'électricité en plus de fournir de la chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire.

Ces différentes méthodes peuvent être utilisées en fonction des besoins et des conditions du bâtiment. Il est important de choisir la solution la plus adaptée pour assurer une intégration optimale des équipements solaires et une efficacité maximale de leur utilisation.

2.1 CONDITION DE BASE POUR LA PRODUCTION PHOTOVOLTAÏQUE

La production d'énergie d'un panneau photovoltaïque dépend de plusieurs facteurs clés, notamment :

- > La situation géographique de l'installation, tels que la pente du toit. Le site www.toitsolaire.ch fournit des informations sur la capacité d'un toit à exploiter l'énergie solaire.
- > Les masques d'ombrage des bâtiments voisins, les structures sur les toits et les superstructures environnantes.
- > La surface disponible ; la puissance par mètre carré et le rendement spécifique de l'installation.
- > Le raccordement du toit au tableau électrique principal du bâtiment.
- > Les coûts de fourniture, d'installation et d'entretien de l'installation.
- > La logistique du chantier, notamment l'accès au toit, ainsi que les détails de construction nécessaires tels que les panneaux fictifs et la ferblanterie.

Tous ces facteurs doivent être pris en compte pour maximiser la production d'énergie solaire tout en minimisant les coûts et en garantissant l'efficacité et la durabilité de l'installation.

3. APPROCHE GLOBALE ÉNERGIE & PATRIMOINE

La portée et la valeur patrimoniale des bâtiments dans le périmètre d'étude varient considérablement en fonction de leur contexte architectural, socio-économique et administratif. Par conséquent, il est crucial de procéder à une analyse et une évaluation approfondies des facteurs pertinents pour déterminer la faisabilité du projet photovoltaïque dans cette zone.

La commune de Bourg-en-Lavaux, en collaboration avec la DGE-DIREN et la DGIP-MS, a identifié plusieurs objectifs clés pour cette étude conjointe :

- > Encourager une dynamique visant à préserver et à valoriser le patrimoine tout en répondant aux défis de la transition énergétique.
- > Permettre l'intégration des dernières techniques et besoins en matière de production d'énergie renouvelable.
- > Fournir une référence essentielle en amont de la planification des projets photovoltaïques.
- > Offrir une plateforme de consultation et de dialogue constructif pour toutes les parties prenantes impliquées.
- > Élaborer un plan de la structure du patrimoine prenant en compte ses sensibilités, en particulier ses valeurs culturelles et historiques.

3.1 STRUCTURE TERRITORIALE ET PÉRIMÈTRE D'ÉTUDE

Cully - site ISOS n°4458 – relevé de octobre 2012 - définition

Les sites construits représentent non seulement notre histoire, mais également notre présent et notre futur en tant qu'espace de vie. Les bâtiments, les rues, les places, les jardins, les parcs et les terres agricoles font partie intégrante d'un site construit et jouent un rôle essentiel dans notre identification à l'endroit où nous vivons. La qualité de ces éléments et leur relation déterminent si le site doit être protégé. Un entretien et un développement harmonieux des sites construits contribuent à la qualité de notre environnement bâti et, par conséquent, à notre bien-être.

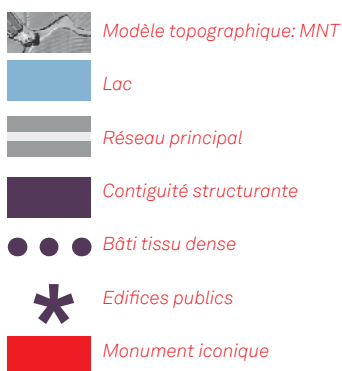
Au niveau national, l'Office fédéral de la culture (OFC) est responsable de la protection des sites construits et gère l'Inventaire fédéral des sites construits d'importance nationale à protéger en Suisse, ISOS. Cet inventaire permet une évaluation uniforme des sites construits pour l'ensemble de la Suisse et permet de déterminer les agglomérations les plus précieuses du pays. L'ISOS est une base importante pour la planification de la Confédération, des cantons et des communes pour assurer un développement de qualité de l'environnement bâti.

En Suisse l'ISOS recense 1274 sites construits d'importance nationale, dont 149 dans le canton de Vaud. Parmi ces sites, Bourg-en-Lavaux est considéré comme un site construit d'importance nationale par l'ISOS et doit donc être protégé.

Comme décrit dans le chapitre 1.1, le périmètre d'étude concerne les périmètres (P) 1 du dernier relevé ISOS. Il est important de tenir compte de ces informations pour préserver la qualité de l'environnement bâti de Bourg-en-Lavaux et garantir son développement harmonieux pour les générations futures.

Ces secteurs de Cully s'inscrivent dans le territoire par des caractéristiques propres:

- > La topographie: le «lac» – le bâti villageois «le Bourg».
- > Les voiries principales en traversée de périmètre d'étude.
- > La morphologie et la typologie du bâti, qu'il s'agisse d'une contiguïté en rangées structurantes ou d'un tissu plus ou moins dense.
- > Les monuments et édifices publics sont également pris en compte pour leur importance architecturale et culturelle, reflétant l'histoire et l'identité de la région.
- > Les vues iconiques, qui offrent des perspectives remarquables sur le paysage et l'environnement bâti, sont également incluses dans cette étude pour leur valeur esthétique et leur potentiel touristique.



Le schéma intitulé «TERRITOIRE, PAYSAGE ET STRUCTURE DU BÂTI» est une illustration clé qui sert de fondement à la création de la carte opérationnelle «VISIBILITÉ DE TOITURES». Cette dernière est ensuite utilisée pour analyser le potentiel d'intégration des capteurs photovoltaïques dans un site construit. Les principes et méthodes utilisés pour la définition de ces deux documents sont détaillés dans l'annexe 02 intitulée «CARTE OPÉRATIONNELLE». En effet, il est crucial de comprendre les facteurs paysagers et architecturaux qui influencent la visibilité des toitures afin de déterminer avec précision leur potentiel d'intégration pour l'installation de panneaux solaires.

Schéma «TERRITOIRE, PAYSAGE ET STRUCTURE DU BÂTI»



3.2 PLANIFICATION

Pour planifier la mise en place d'une installation photovoltaïque, le maître d'œuvre doit établir un diagnostic de la situation afin de définir les contraintes et les possibilités du projet à développer. Cette évaluation doit prendre en compte le potentiel du toit, y compris le type, la capacité structurelle et l'état du toit pour recevoir la future installation.

En plus des considérations relatives à la production d'électricité et au rendement, le projet doit être conforme aux bases légales et aux plans d'aménagement en vigueur. Les exigences de la police des constructions doivent également être satisfaites. Les détails de construction tels que la couleur et le type de couverture, les finitions en ferblanterie, etc. doivent être particulièrement soignés en raison de la sensibilité du site et de son caractère patrimonial. Une attention supplémentaire doit être portée aux toitures réalisées avec des tuiles plates.

Il est important de prendre en compte les particularités de chaque projet, car tous les toits ne sont pas adaptés à la mise en place d'une installation photovoltaïque. Des analyses techniques doivent être réalisées pour évaluer la faisabilité du projet et garantir la sécurité de l'installation. En outre, la planification du projet doit inclure la gestion des risques, la planification de l'entretien et la surveillance régulière de l'installation pour assurer son bon fonctionnement à long terme.

3.3 DIAGNOSTIC DE VISIBILITÉ

CONTENUS DU PLAN DE BASE

Le plan de base est un document essentiel pour l'analyse de l'intégration des panneaux photovoltaïques dans le paysage. Il regroupe plusieurs éléments clés qui serviront de référence pour l'étude :

- Le périmètre d'étude est constitué des périmètres (P) 1 du relevé ISOS de Cully de 2012.
- La base cadastrale état d'octobre 2022 et la topographie avec des courbes de niveau tous les mètres sont incluses dans le plan de base.
- Le guide du paysage de 2021 «vers une identité paysagère et architecturale concertée».

Tous ces éléments sont essentiels pour établir une analyse approfondie de l'intégration des panneaux photovoltaïques dans le paysage de Cully et pour élaborer une stratégie de développement durable pour la zone étudiée.

TPOLOGIE DES VISIBILITÉS

La typologie des visibilitées est définie en tenant compte de différents niveaux de vues:

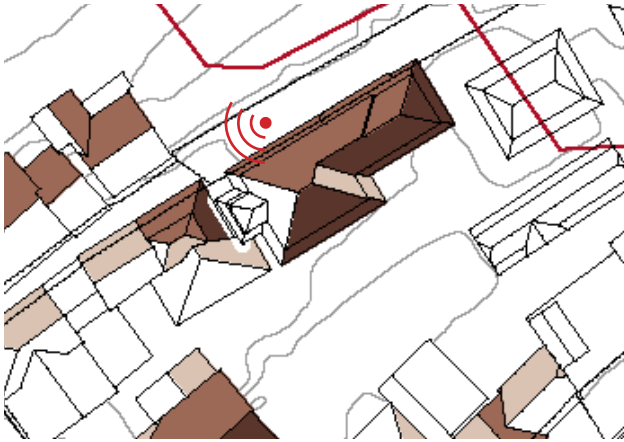
des vues lointaines ou iconiques



de vues de proximité depuis la rue



des échappées dans le tissu bâti



Il en résulte les degrés de visibilité suivants:

- > Très haute
- > Haute
- > Moyenne
- > Faible

La carte opérationnelle «VISIBILITÉ DES TOITURES» considère la visibilité des toitures depuis le niveau piéton, en attribuant des degrés de visibilité aux toitures existantes ou prévues dans le périmètre étudié et en utilisant des nuances de brun pour indiquer leur niveau de perceptibilité. Les vues sur le périmètre depuis l'extérieur sont également prises en compte dans l'analyse.

Degré de visibilité 1 – Très haute



Degré de visibilité 2 – Haute



Degré de visibilité 3 – Moyenne



3.4 INSTALLATIONS PHOTOVOLTAÏQUES







TYPES D'INSTALLATIONS

Ci-dessous est présenté un inventaire indicatif des types d'installations photovoltaïques admises, avec une estimation des prix pour l'année 2023. Le tableau complet se trouve à l'annexe 06, où vous pouvez trouver les caractéristiques détaillées de chaque installation, y compris une image de référence, la puissance installée, les coûts d'installation et de raccordement, les subventions disponibles et d'autres détails techniques pertinents.

Il convient de souligner que ces données sont basées sur l'état de la technique pour l'année 2023 et qu'elles sont susceptibles d'évoluer rapidement. En examinant ces informations, vous pourrez comparer les différents types d'installations photovoltaïques et déterminer celle qui convient le mieux à vos besoins.

Il est important de comprendre que les coûts et les subventions peuvent varier en fonction de la région et des politiques gouvernementales en vigueur. Toutefois, les informations présentées dans le tableau devraient vous donner une idée générale des coûts associés à chaque type d'installation.

En outre, avant d'installer une installation photovoltaïque, il est recommandé de consulter un professionnel qualifié pour obtenir des conseils personnalisés et une estimation de coûts précise en fonction de votre situation spécifique.

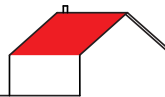
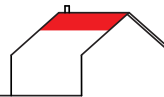
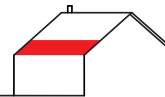
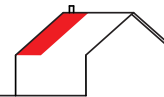
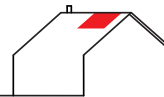
	1	2	3	4	5	7
Type d'installation	Intégrée	Intégrée	Intégrée	Intégrée	Intégrée	Ajouter sur tuile
Modules photovoltaïques	Petites tuiles pointues tachetées terracotta Freesuns ou équ.	Petite tuile terracotta Megasol Tuile ou équ.	Petite tuile terracotta 3S ou équ.	Plaque terracotta Solrif ou équ.	Grande tuile terracotta 3S ou équ.	Terracotta
Image						

TYOLOGIE D'IMPLANTATION

Lorsqu'il s'agit d'installer des panneaux solaires sur votre toiture, plusieurs scénarios d'implantation sont envisageables, comme indiqué sur l'illustration ci-dessous. Selon vos besoins et les particularités de votre toiture, vous pouvez opter pour une installation qui couvre l'intégralité d'un pan de toiture, une géométrie en forme de bandeau horizontal ou vertical, un rectangle isolé, une forme libre ou une implantation dispersée.

Ces différentes options d'implantation peuvent avoir des avantages et des inconvénients, en fonction de vos besoins en termes de production d'énergie solaire, de l'orientation et de l'inclinaison de votre toiture, de l'ombre portée par les éléments environnants, et d'autres facteurs à prendre en compte.

En général, les installations qui couvrent l'intégralité d'un pan de toiture peuvent offrir une meilleure efficacité énergétique, tandis que les installations en forme de bandeau peuvent être plus esthétiques et discrètes. Les rectangles isolés et les formes libres peuvent être plus adaptés à des toitures complexes, tandis que les implantations dispersées peuvent être plus appropriées pour des toitures de grande superficie.

Typologie d'implantation	Toiture intégrale	Bandeau			Rectangle isolé
implantation minimum par degré de visibilité,	Installation photovoltaïque sur une surface entière et d'un seul tenant	Bande horizontale au faîte ou à la corniche Bande verticale en bordure de toiture			Implantation isolée compacte
les implantations plus restrictives peuvent être appliquées à chaque degré de visibilité					

3.5 DISPOSITIONS FONDAMENTALES

TYPES D'INSTALLATION ET TYPOLOGIE D'IMPLANTATION EN FONCTION DU DEGRÉ DE VISIBILITÉ

Plus le niveau de visibilité d'une toiture est élevé, plus les exigences d'intégration architecturale, de type d'installation et de composants matériels sont accrues. En d'autres termes, les toitures très visibles nécessitent une attention particulière pour leur intégration harmonieuse dans l'environnement bâti. La typologie d'implantation recommandée pour un projet dépend directement du niveau de visibilité prédéfini.

Un tableau présenté dans l'annexe 06 indique la solution minimale à adopter en fonction du niveau de visibilité de la toiture. Cette solution minimale doit être respectée pour tous les projets soumis aux autorités compétentes. Cependant, les propriétaires ont la possibilité de soumettre des solutions qui dépassent les exigences minimales.

Degrés de visibilité	I	II		III		IV
selon annexe 02 carte opérationnelle	Très haut	Haut		Moyen		Faible
Type d'installation	1	2	3	4	5	7
selon annexe 06 Types d'installation photovoltaïque						

Pour les toitures très visibles, de niveau «très haute», il est recommandé d'installer des modules de petites tuiles plates tachetées, de type 1, de manière intégrée à la toiture existante. La typologie d'implantation recommandée sera celle de la toiture intégrale (I). Pour les toitures de niveau «haute», il est préconisé d'utiliser des modules de grandes tuiles ou de losanges en terra cotta, de type 2 ou 3, avec une implantation en bandeau horizontal ou vertical (II).

Pour les toitures de niveau «moyenne», il est recommandé d'installer des modules de plaques terracotta, de type 4 ou 5, de manière intégrée et compacte. La typologie d'implantation recommandée sera au minimum en bandeau horizontal ou vertical (III).

Pour les toitures de niveau «faible», les types d'installations 7 sont économiquement plus avantageux. L'implantation doit se faire à minima de manière isolée compacte (III).

Pour l'ensemble des degrés de visibilité, une intégration chromatique est requise. Cela signifie que les modules utilisés doivent être de couleur terre cuite ou en harmonie avec le matériau de couverture du bâtiment ou de l'ensemble bâti. Les détails de ferblanterie doivent également être soignés pour un rendu visuel optimal.

AUTRES DISPOSITIONS

Il est crucial de réduire au maximum l'impact des reflets. Pour ce faire, les verres des capteurs devront être non brillants en utilisant les dernières technologies disponibles.

De plus, il est important de considérer et d'exploiter le potentiel offert par les lucarnes, les chiens-assis et les appentis dans la conception du projet. Ainsi, il est recommandé de présenter des propositions d'harmonisation entre les types de capteurs, les tuiles et les éléments de ferblanterie, afin de garantir une harmonie générale et chromatique des toitures. Cette harmonisation contribuera à l'esthétique globale du projet et à la satisfaction des autorités locales compétentes.

4. PLANIFICATION D'UN PROJET PHOTOVOLTAÏQUE

Nous avons élaboré ci-dessous un aide-mémoire qui regroupe l'ensemble des points essentiels à considérer lors du développement d'un projet de production photovoltaïque au sein du périmètre d'étude. Cette liste vous guidera tout au long de la conception de votre projet, en vous permettant de prendre en compte les particularités du site, les exigences réglementaires et patrimoniales, ainsi que les considérations techniques liées à l'installation et à l'exploitation des panneaux solaires.

4.1 LES BASES

- > Le schéma «structure territoriale» et la carte de visibilité, annexe **02. CARTE OPÉRATIONNELLE** et **02.1 - .3. VISIBILITÉ DES TOITURES PAR DEGRÉ.**
- > L'inventaire indicatif des types d'installations photovoltaïques, leurs caractéristiques techniques (puissance installée, rendement, matériaux, teintes, dimensions et coûts). Ces données sont en l'état 2023 et susceptibles d'évoluer rapidement, annexe **6. TYPES D'INSTALLATIONS PHOTOVOLTAÏQUES, COMPARATIF ET ESTIMATION DE PRIX 2023.**
- > Détails de construction.
- > Les données fédérale, cantonale et communale: cadastre solaire (OFEN), inventaire.
- > ISOS, recensement architectural, modèle MNT, etc..
- > Base cadastrale (plan de géomètre).
- > Relevé du bâtiment: élévations y compris les immeubles adjacents ou le groupe d'immeubles, et les coupes utiles à la compréhension du volume bâti concerné par le projet.
- > Dossier photographique: façades, toitures (orthophotos ou drones), y compris les immeubles adjacents ou le groupe d'immeubles, vues lointaines et/ou de proximité.

4.2 LES REQUIS

Ci-dessous est présentée une liste de points à prendre en compte lors de la planification d'un projet de production photovoltaïque dans le périmètre d'étude :

- > Analyse de faisabilité: il est important de vérifier que l'emplacement choisi est adapté pour recevoir une installation PV. Plusieurs facteurs doivent être pris en compte, tels que l'orientation, la pente, les éventuelles ombres portées subies, l'occupation existante de la toiture et la faisabilité technique en termes d'accès logistique, de raccordement à l'onduleur et de raccordement au tableau de comptage.
- > Descriptif de l'installation: une fois la faisabilité confirmée, il est essentiel de décrire l'installation en détail. Il convient de préciser le type de capteurs photovoltaïques qui seront utilisés, l'emprise qu'ils auront sur la toiture, le potentiel de production d'énergie, les utilisateurs potentiels, le

profil de consommation, la gestion de l'autoconsommation ainsi que les installations de référence existantes. Il est également important de réaliser une étude économique afin de calculer l'investissement nécessaire et la rentabilité du projet.

- Plans en élévations et en coupes : il est recommandé de fournir des plans en élévations et en coupes du bâtiment concerné afin de mieux visualiser l'installation photovoltaïque projetée. Ces plans devront être réalisés à partir d'un relevé précis de l'état existant.
- Images de synthèse ou simulations : pour aider à la visualisation du projet, des images de synthèse ou des simulations basées sur des photos de l'état existant pourront être présentées. Il convient également de prendre en compte les immeubles adjacents ou les groupes d'immeubles pour mieux comprendre l'impact de l'installation photovoltaïque sur l'environnement urbain.

5. CRITÈRES D'ÉVALUATION

Les critères d'évaluation sont essentiels pour permettre aux autorités de juger de la qualité d'un projet qui leur est soumis. En effet, l'évaluation de ces critères découle d'une appréciation et d'un bilan de la proposition avec une pesée des intérêts publics et privés.

Dans le cadre de la qualité architecturale et patrimoniale, plusieurs éléments sont à évaluer :

- > La qualité de la proposition soumise, en termes d'efficacité énergétique et de respect des normes en vigueur.
- > La valeur patrimoniale de l'immeuble ou de l'ensemble, afin de s'assurer de la préservation du patrimoine historique.
- > L'impact visuel de la proposition, afin de s'assurer de l'harmonie esthétique avec le site existant.
- > La qualité et cohérence de l'intégration architecturale, qui doit prendre en compte les volumes et les matériaux pour une harmonie visuelle parfaite.

Tous ces critères permettent de procéder à une pesée d'intérêts entre efficacité énergétique et impact dans le site, afin de garantir un projet de qualité qui satisfait les exigences esthétiques et patrimoniales de la région.

6. BIBLIOGRAPHIE

Les documents suivants sont cités à titre de référence et permettent de compléter les informations sur le contexte stratégique dans lequel s'inscrit cette étude:

- > Stratégie du Conseil d'État vaudois pour la protection du climat, Plan climat vaudois 1ère génération, juin 2020.
- > Stratégie culture du bâti, Stratégie interdépartementale d'encouragement, OFC, février 2020.
- > Architecture solaire aujourd'hui et pour demain, publication OFEN, mars 2019.
- > Guide relatif à la procédure d'annonce et d'autorisation pour les installations solaires, SuisseEnergie, février 2021.
- > Patrimoine et Energie. Concilier bâti historique, et exigences en matière de consommation d'énergie. OFC, SuisseEnergie.
- > Planification énergétique territoriale, Commun de Bourg-en-Lavaux, octobre 2020.
- > IFP 1202 Lavaux, Inventaire fédéral des paysages, sites et monuments naturels d'importance nationale IFP.
- > Le guide du paysage de 2021 «vers une identité paysagère et architecturale concertée».
- > DRUIDE, Directive et règles à usage interne de l'Etat, No 9.4.1 du 18.05.2022.
- > Intégration architecturale de capteurs photovoltaïques dans un contexte à haute valeur patrimoniale, Ville de Moudon 2022.

7. LISTE DES ANNEXES

- > 02. CARTE OPÉRATIONNELLE
- > 02.1. VISIBILITÉ DES TOITURES PAR DEGRÉ – DEGRÉ I
- > 02.2. VISIBILITÉ DES TOITURES PAR DEGRÉ – DEGRÉ II
- > 02.3. VISIBILITÉ DES TOITURES PAR DEGRÉ – DEGRÉ III
- > 03. RECENSEMENT ARCHITECTURAL
- > 04. ENSOLEILLEMENT DES TOITURES
- > 05. PANNEAUX SOLAIRES
- > 06. TYPES D'INSTALLATIONS PHOTOVOLTAÏQUES
- > 07.1. MODÉLISATION 5ÈME FAÇADE - TOITURE INTÉGRALE
- > 07.2. MODÉLISATION 5ÈME FAÇADE - BANDEAU HORIZONTALE - FÂITE
- > 07.3. MODÉLISATION 5ÈME FAÇADE - BANDEAU HORIZONTALE - CORNICHE
- > 07.4. MODÉLISATION 5ÈME FAÇADE - BANDEAU VERTICALE - VIREVENT
- > 07.5. MODÉLISATION 5ÈME FAÇADE - RECTANGLE ISOLÉ - POSE SUR TUILE

