



**UNIVERSITÉ  
DE GENÈVE**

INSTITUT DES SCIENCES  
DE L'ENVIRONNEMENT

**ALPIQ**

CERTIFICAT COMPLÉMENTAIRE EN GÉOMATIQUE

---

## **L'énergie solaire dans les Alpes**

---

Rapport de stage - Alpiq

Leila Hottinger

N° 17-418-823

[leila.hottinger@etu.unige.ch](mailto:leila.hottinger@etu.unige.ch)

[hottinger.leila@gmail.com](mailto:hottinger.leila@gmail.com)

Responsables de stage Alpiq : Cassien Vietti-Violi & Bernard Valluy

Directeur de mémoire Unige : Gregory Giuliani

Juin 2023

## Table des matières

1. Introduction .....	4
2. Contexte.....	5
2.1. Organisation hôte – Alpiq .....	5
2.2. L'énergie solaire dans les Alpes.....	5
2.3. Objectifs du stage .....	8
3. Développement des thématiques .....	8
3.1. Productible solaire .....	8
3.2. Éblouissement .....	15
3.3. Analyse multicritère .....	24
4. Conclusion.....	27
5. Bibliographie .....	29
6. Annexes .....	30

## Résumé

En vue d'améliorer l'approvisionnement énergétique hivernal de la Suisse, Alpiq souhaite implanter plusieurs installations photovoltaïques de grande envergure sur le territoire alpin. Dans ce contexte, ils ont proposé des offres de stage aux étudiants en géomatique de l'UNIGE pour travailler sur les thématiques du potentiel de production d'énergie solaire (le productible), sur l'analyse des effets d'éblouissement liés aux panneaux solaire ainsi que sur la réalisation d'une analyse multicritère du territoire. L'objectif du stage était d'explorer le potentiel des outils SIG dans ces différents domaines. Le stage a eu une durée de 2 mois et les principales réalisations sont présentées dans ce dossier. Les manipulations ont été effectuées de préférence avec le logiciel QGIS en utilisant les données librement accessibles de la Confédération ou des cantons.

## Remerciements

Je tiens à exprimer ma gratitude envers toutes les personnes ayant contribué à ce travail. Je souhaite particulièrement remercier Cassien Vietti-Violi, chef de projet environnement chez Alpiq, pour son accompagnement, sa collaboration et ses précieux conseils tout au long du stage. Je suis également reconnaissante envers Gregory Giuliani, chargé de cours au sein de l'institut des sciences de l'environnement, qui a facilité la mise en relation entre l'entreprise et les étudiants, ainsi que pour sa supervision. Enfin, je tiens à remercier Stéphane Goyette pour sa disponibilité et son aide précieuse tout au long de ce travail.

## 1. Introduction

La géomatique est un domaine spécialisé dans l'acquisition, le stockage, l'analyse et la diffusion des données géographiques avec l'aide d'outils informatiques (Université de Genève, 2023). Elle est devenue un élément essentiel dans divers domaines notamment dans tout ce qui concerne le territoire et l'environnement. La géomatique joue un rôle indispensable pour exploiter de manière pertinente les données spatiales qui sont de plus en plus abondantes et accessibles.

Les outils d'information géographique sont omniprésents dans le domaine de l'environnement et leur maîtrise permet d'accroître en productivité et en professionnalisme. Ils offrent de nombreuses possibilités pour analyser les problématiques liées au territoire, facilitant ainsi une prise de décisions éclairées. Dans le but d'acquérir des compétences dans ce domaine, l'université de Genève (UNIGE) propose un certificat complémentaire en géomatique. Le cursus comprend trois mois de cours, totalisant 18 crédits ECTS, ainsi qu'une période de deux à six mois consacrés à la recherche ou à un stage pratique pour 12 crédits ECTS. Cette approche permet aux étudiants d'appliquer les connaissances acquises lors des cours et de se former dans un environnement professionnel.

Les entreprises ont la possibilité d'offrir des stages aux étudiants. Alpiq, une entreprise active dans le secteur de l'énergie en Suisse, utilise régulièrement la géomatique dans leurs divers domaines d'activité. Ils ont ainsi proposé plusieurs places de stage aux étudiants de l'UNIGE (Annexe A). Les sujets abordés dans ce travail sont tous liés au programme solaire alpin dirigé par Alpiq. En réponse à la volonté politique d'assurer l'approvisionnement énergétique du pays, des installations solaires de grande envergure vont fleurir en Suisse dans les prochaines années. La géomatique se révèle pouvoir être un outil précieux pour prendre des décisions éclairées concernant l'emplacement, l'inclinaison, l'orientation et le rendement des panneaux solaires.

## 2. Contexte

### 2.1. Organisation hôte – Alpiq

Alpiq, entreprise fondée en 1890, est leader sur le marché énergétique suisse et intervient à travers toute l'Europe. Avec près de 1200 employés, l'entreprise propose des services complets dans la production, la commercialisation et l'optimisation énergétique. Depuis plus de 100 ans, Alpiq fournit une grande partie de l'électricité en Suisse via des sources d'énergie variées. Grâce au bon potentiel hydraulique du pays, elle s'est spécialisée dans l'hydroélectricité avec une participation dans 19 grandes centrales à accumulation, de pompage-turbinage et au fil de l'eau. Elle a également des participations dans deux centrales nucléaires et gère cinq centrales à gaz, huit parcs éoliens et six grandes installations photovoltaïques en Suisse et en Europe.

Alpiq développe de nombreux projets de production et stockage d'énergie renouvelable (hydroélectricité, solaire et éolien), en Suisse et en Europe et oriente ses activités dans une optique de durabilité. Elle propose également des solutions innovantes pour combiner les sources énergies, certaines non-pilotables car dépendantes des conditions météorologiques, et d'autres plus contrôlables telles que l'hydroélectrique d'accumulation et le pompage-turbinage, pour garantir une production énergétique fiable, sûre et respectueuse de l'environnement. En 2022, l'entreprise a fourni 17'450 GWh d'électricité dont 37% provenait du nucléaire, 31% de l'énergie hydraulique, 29% de l'énergie thermique et 3% des installations solaires et éoliennes (Alpiq, 2023).

Pour répondre aux besoins énergétiques de la Suisse et à la volonté politique de réduire le déficit hivernal, Alpiq est actif dans le programme solaire alpin. Ils évaluent actuellement plusieurs sites potentiels pour l'installation de grandes infrastructures solaires en milieu alpin. Ils ont une expertise solide en termes de gestion de projet, de production et de commercialisation d'électricité.

### 2.2. L'énergie solaire dans les Alpes

Le soleil est la principale source d'énergie sur Terre (Kabir et al., 2018). Techniquement, l'énergie solaire est en mesure de répondre à la demande mondiale en électricité. De plus, cette source d'énergie est à la fois renouvelable et durable, éliminant ainsi la possibilité d'un

épuisement éventuel. En comparaison aux centrales de production électriques au charbon ou à gaz, les installations solaires sont très peu émettrices de gaz à effet de serre (GES) et leur développement permettrait de limiter le réchauffement climatique. La Suisse s'est fixée pour objectif, dans le cadre de sa stratégie énergétique 2050, de remplacer progressivement la production d'énergie nucléaire, qui représente environ 20% de la consommation en électricité du pays, par des sources d'énergie renouvelable, notamment l'énergie photovoltaïque (Office fédéral de l'énergie, 2022). Malgré l'excellent potentiel de l'énergie solaire et la prise de conscience générale sur les nombreux avantages des énergies renouvelables ces dernières années, le solaire représente toujours une part négligeable de l'approvisionnement énergétique mondial (Kabir et al., 2018).

La technologie photovoltaïque (PV) est aujourd'hui la méthode la plus courante pour exploiter l'énergie solaire dans le but de produire de l'électricité. Cette technologie se distingue par sa croissance rapide sur le marché (Creutzig et al., 2017). Les cellules solaires photovoltaïques, constituées de semi-conducteurs, permettent de transformer directement l'énergie du rayonnement solaire reçus (rayonnement électromagnétique) en courant électrique (Swissolar, 2023). Le rendement des modules solaires varie entre 19 et 22% en fonction de la technologie choisie. Le PV demande encore un important investissement financier mais il s'améliore progressivement et devient de plus en plus concurrentiel face aux autres méthodes de production d'énergie. Le prix des modules photovoltaïques a diminué d'environ 22,5% pour chaque doublement de la capacité de production cumulée au cours des 40 dernières années (Creutzig et al., 2017).

La production d'énergie grâce au soleil est cependant dépendante des conditions météorologiques et varie fortement quotidiennement et annuellement. Elle est maximale généralement en été et durant la journée. Ce modèle de production n'est malheureusement pas en adéquation avec le mode de consommation habituel. La demande en énergie est plus importante en hiver lorsque la production solaire est moindre (Kahl et al., 2019). Ainsi, en Suisse, il y a la volonté de rapprocher le modèle de production au mode de consommation afin de limiter les actuelles importations d'énergie. Pour se faire, le conseil fédéral a modifié l'article 71a de la loi sur l'énergie (LEne) en septembre 2022 dans le cadre des « mesures urgentes visant à assurer rapidement l'approvisionnement en électricité pendant l'hiver » (DETEC, 2023). La législation Suisse autorise maintenant l'implantation de grandes installations solaires hors des zones à bâtir (Figure 1) pour autant qu'elles respectent certaines conditions :

- Hors marais et sites marécageux, biotopes d'importances nationales, et réserves de sauvagine et d'oiseaux migrateurs, hors surfaces d'assolement.
- La production électrique de la centrale en automne/hiver (du 1<sup>er</sup> octobre au 31 mars) doit être d'au minimum 500 kWh pour 1 kW de puissance installée.
- Une étude d'impact sur l'environnement doit être réalisée en amont de la construction et toutes les mesures nécessaires afin de réduire ces impacts doivent être prises.
- A la fin de l'exploitation de l'installation, le gestionnaire doit prévoir le démantèlement des panneaux solaire et la remise en état initial du terrain.

De plus, afin de promouvoir une mise en place rapide et efficace, la confédération subventionne jusqu'à 60% des coûts générés par la construction des grandes installations photovoltaïques à conditions qu'elles soient en partie opérationnelles en décembre 2025 (DETEC, 2023).

Pour qu'une installation photovoltaïque produise suffisamment d'électricité en hiver, il faut la placer judicieusement sur le territoire. Des études ont mis en avant l'excellent potentiel énergétique des régions de montagne des moyennes latitudes (Kahl et al., 2019). En effet, en altitude, l'atmosphère sus-jacente est plus fine et absorbera une plus faible part des radiations solaires. De plus, ces régions sont nettement plus ensoleillées en hiver car elles ne sont pas impactées par le brouillard et le stratus, phénomènes récurrents sur le plateau Suisse. Les surfaces partiellement enneigées profitent également d'une réflectance accrue du fait de leur albédo important. Selon Swissolar, les installations photovoltaïques alpines génèrent une quantité d'énergie nettement supérieure pendant la saison hivernale par rapport à une installation de même taille en plaine.



Figure 1 : Exemple d'une grande installation solaire en région alpine, image de synthèse du site de Gondosolar dans le haut Valais (Alpiq, 2023).

## 2.3. Objectifs du stage

Alpiq, principal producteur d'énergie en Suisse, est investi dans différentes études de faisabilité des projets solaires alpins. Dans la phase de planification d'un projet, l'utilisation de la géomatique peut être très utile. Les logiciels d'information géographique permettent de réaliser des études préliminaires sur les questions de productibilité solaire, d'éblouissement dû aux panneaux et de contraintes environnementales potentielles à considérer lors de l'implantation de structures solaires. Alpiq ne dispose pas de division interne spécialisée en géomatique, mais mandate généralement des bureaux externes pour les analyses nécessaires. Ce stage permet à un.e étudiant.e de contribuer à résoudre certaines problématiques liées aux installations solaires dans les Alpes en utilisant des outils SIG. Alpiq demande un support géomatique notamment pour les trois sujets suivants liés au solaire alpin ; le calcul du potentiel de productible issu de l'énergie solaire sur un site d'étude, les questions d'éblouissement lié aux installations solaires et la mise en place d'un outil d'analyse multicritère permettant d'identifier et de cartographier les contraintes environnementales sur la partie alpine du territoire Suisse. Les trois thématiques sont détaillées dans les prochaines parties, la méthodologie et les résultats obtenus sont présentés à la suite. Plus généralement, le stage vise à évaluer l'utilité des outils SIG pour les études sur les installations solaires, et à explorer les possibilités de collaboration régulière ou à plus long terme avec des étudiants spécialisés en géomatique.

## 3. Développement des thématiques

### 3.1. Productible solaire

La production d'électricité à partir de l'énergie solaire présente de nombreux avantages, tels que sa disponibilité et son accessibilité universelle. Cependant, la rentabilité des installations solaires varie en fonction des régions géographiques. La technologie PV convertit les photons provenant du rayonnement solaire en électricité, ce qui rend plus avantageux l'installation de panneaux photovoltaïques dans les régions bénéficiant des meilleures ressources solaires (Megantoro et al., 2022). Le rayonnement solaire est spécifique à chaque région du globe et est influencé par divers facteurs, tels que la latitude, l'heure, la saison, les conditions atmosphériques et la végétation (Kabir et al., 2018). Pour concevoir de manière optimale un système de production d'électricité solaire, il est essentiel de prendre en compte ces facteurs afin de positionner les installations là où la quantité de rayonnement solaire reçue est maximale.



Le rayonnement total ou global qui atteint une surface plane et horizontale de la terre est catégorisé en deux composantes (Figure 2) (Duffie & Beckman, 2013) ;

- Le rayonnement solaire direct est le rayonnement reçu effectivement par la surface, qui n'a pas été intercepté par les composantes de l'atmosphère.
- Le rayonnement solaire diffus est le rayonnement qui parvient à la surface après avoir été dispersé dans l'atmosphère.

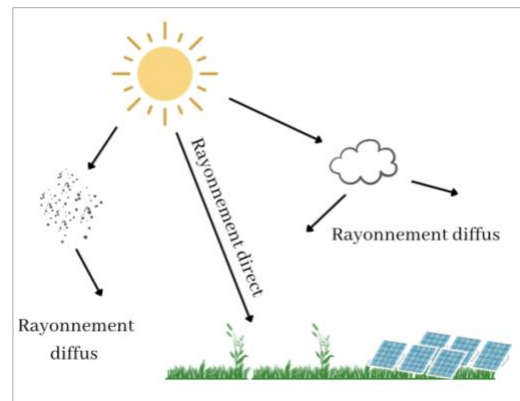


Figure 2 : Schéma des composantes principales du rayonnement solaire.

La quantité de rayonnement solaire qui atteint un certain endroit au cours de l'année doit être considérée pour le choix de l'emplacement des panneaux ainsi que pour calculer précisément le productible d'une certaine installation solaire.

### *Méthodologie*

Dans cette section « productible », l'objectif est de calculer le rayonnement solaire qui atteint le site d'implantation du projet photovoltaïque Alpin de Grimentz (7.5533°E ; 46.1886°N) tout au long de l'année pour ensuite estimer l'énergie PV. En Suisse, les mesures continues du rayonnement solaire ne sont effectuées que dans un nombre limité de stations météorologiques. Afin d'obtenir des informations pour une autre zone du territoire, il est nécessaire d'estimer les données en se basant sur les mesures des stations situées à proximité du site d'intérêt, ainsi que sur sa localisation géographique et la topologie environnante, en prenant en compte les effets d'ombrage spécifiques à chaque parcelle.

La première étape est de recenser les stations météorologiques mesurant le rayonnement solaire en Suisse ou du moins dans les Alpes. Sur l'intégralité du territoire helvétique, quelques 300 stations possèdent des données de rayonnement solaires. Avec leur coordonnées GPS elles ont pu être affichées dans QGIS (champ X longitude, champ Y latitude). Ainsi il est aisé de déterminer visuellement lesquelles se situent à proximité de la zone d'étude. Ensuite, il faut télécharger les données de rayonnements solaires globaux et diffus (lorsqu'elles existent) des stations sélectionnées. Pour une réalisation complète avec un volume de données raisonnable à traiter, cette étude se base sur les données horaires de cinq stations, moyennées sur cinq ans de

2016 à 2020. La plage temporelle et le nombre de sites considérés peuvent être modifiés en fonction des besoins de l'étude. Il est judicieux d'assigner une pondération à chaque station en fonction de leur éloignement ( $\Delta y$ ) au site d'étude (différence d'altitude ( $\Delta z$ ) et de distance horizontale ( $\Delta x$ )) (Eq. 1) afin de déterminer le poids relatif,  $\omega$ , de chacune d'entre elle dans le calcul du rayonnement solaire global et diffus au site d'étude (Eq. 2).

$$\Delta y = \sqrt{(\Delta z^2 + \Delta x^2)} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$\omega = \left(1 - \frac{\Delta y}{\sum \Delta y}\right) \quad (\text{Eq. 2})$$

En région alpine, les effets d'ombrage revêtent une importance particulière en raison de la proximité des reliefs montagnards. L'objectif est de déterminer, pour chaque heure de l'année, si un site donné est au soleil ou à l'ombre, en tenant compte de la position du soleil dans le ciel et du relief environnant. Cette tâche consiste à générer un masque d'occultation solaire qui prend en considération les variations d'élévation et d'azimut en fonction de la latitude et du moment de l'année.

Le jeu de données est vaste du fait qu'une année contient 8'761 heures, dont 4'401 où le soleil est au-dessus de l'horizon dans nos latitudes (sans compter la topographie) et pour lesquelles il faut déterminer s'il est caché par les reliefs ou non. Le résultat nous renseignera sur le type de rayonnement à considérer ; si le site est à l'ombre à une certaine heure, alors il faudra considérer les valeurs de rayonnement diffus et si le site est exposé au soleil alors il conviendra de considérer les valeurs de rayonnement global pour le calcul du productible. Le masque d'occultation est déterminé à l'aide de l'outil QGIS « Ombrage (Hillshade) ». Il calcule l'ombrage d'un modèle numérique de terrain (MNT) en fonction de l'élévation et de l'azimut du soleil. Dans cette étude, le MNT25 est utilisé. Il représente la surface topographique de la Suisse, en excluant ce qui dépasse de la surface à savoir la végétation et les constructions. Sa résolution est de 25 mètres. Au vu du nombre important de données à traiter, l'outil Ombrage a été automatisé à l'aide de l'interface Python de QGIS. L'algorithme est imputé pour les 4'400 différentes positions du soleil au cours d'une année, puis le résultat 0 ou 1 est inscrit dans une nouvelle colonne du tableau Excel respectivement si le site est à l'ombre ou au soleil. L'outil ombrage fournit un résultat gradué entre 0 (ombre totale) et 255 (ensoleillement total). Le seuil de luminosité pour considérer qu'un point est au soleil a été fixé à 150. Le script utilisé est présenté dans l'Annexe B.

Enfin le rayonnement solaire horaire qui atteint le site de Grimentz peut être estimé par la moyenne pondérée des autres stations. Lorsque le site d'étude n'est pas occulté par les montagnes, le rayonnement solaire horaire  $R_G^\downarrow$  est estimé en prenant en considération le rayonnement global des différentes stations météorologiques,  $R_{G,i}^\downarrow$  affecté de leur poids relatif  $\omega_i$  (Eq. 3). Lorsque le site est occulté par les montagnes, le rayonnement solaire horaire  $R_D^\downarrow$  est estimé en prenant en considération le rayonnement diffus des différentes stations météorologiques,  $R_{D,i}^\downarrow$  affecté de leur poids relatif  $\omega_i$  (Eq. 4).

$$R_G^\downarrow = \sum \omega_i R_{G,i}^\downarrow \quad (\text{Eq. 3})$$

$$R_D^\downarrow = \sum \omega_i R_{D,i}^\downarrow \quad (\text{Eq. 4})$$

Avec, dans tous les cas  $\sum \omega_i = 1$  (Eq. 5)

Les résultats sont valides pour une surface plane et horizontale. Pour utiliser le résultat dans le calcul du potentiel de productible d'une installation solaire il faut considérer la surface, le nombre, l'inclinaison et l'orientation des panneaux solaires.

### *Résultats et discussion*

L'intégralité des stations de mesure du rayonnement solaire global et/ou diffus en Suisse et aux alentours a été géoréférencée et recensée sur une carte de la Suisse. Sur la base de ce document, les cinq stations à proximité immédiate du site d'implantation de Grimentz ont pu être sélectionnées (Figure 3 et Tableau 1).

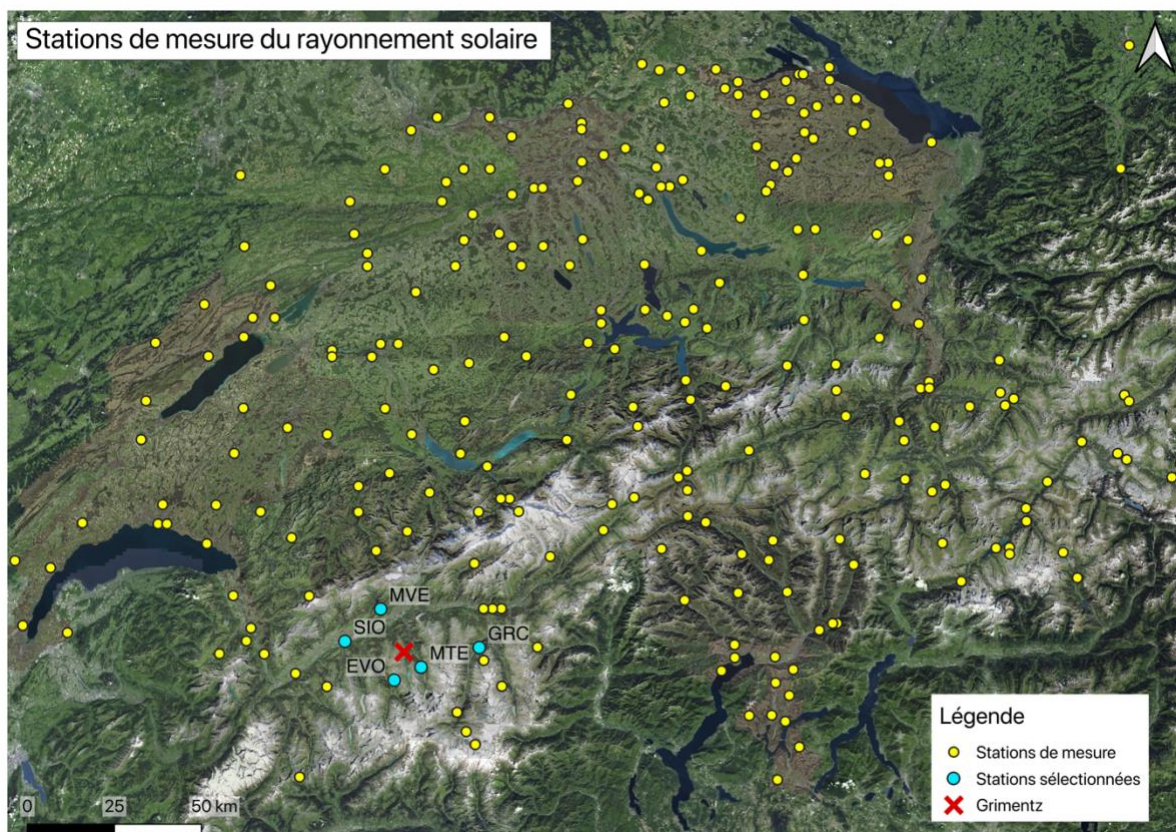


Figure 3 : Stations de mesure du rayonnement solaire en Suisse (jaune) et stations sélectionnées pour la suite des analyses (bleu).

Tableau 1 : Caractéristiques des stations de mesure sélectionnées.

stn	Nom	Source de données	Mesures	Longitude	Latitude	Altitude [m]	Distance à Grimentz [km]
EVO	Evolène / Villa	MeteoSchweiz	Global	7°31'	46°07'	1825	8,5
GRC	Grächen	MeteoSchweiz	Global - Diffus	7°50'	46°12'	1605	21,6
MVE	Montana	MeteoSchweiz	Global - Diffus	7°28'	46°18'	1422	14
MTE	Mottec	MeteoSchweiz	Global - Diffus	7°37'	46°09'	1580	6,6
SIO	Sion	MeteoSchweiz	Global	7°20'	46°13'	482	17,2

Le rayonnement solaire horaire, journalier et mensuel moyen atteignant le site de Grimentz a été déterminé par l'interpolation de la moyenne pondérée des cinq stations retenues lorsque le rayonnement global pouvait être considéré (site au soleil) et par l'interpolation des trois stations mesurant les données du rayonnement diffus lorsque le site est à l'ombre. Les résultats semblent cohérents avec un rayonnement total plus important pour les mois longuement ensoleillés de juin (4,81 kWh m<sup>-2</sup>) et juillet (4,83 kWh m<sup>-2</sup>) et des valeurs plus faibles pour décembre (1,02 kWh m<sup>-2</sup>) et janvier (1,3 kWh m<sup>-2</sup>) (Figure 4 et Figure 5). Basé sur la moyenne des années 2016 à 2020, le site de Grimentz recevrait environ 1132,86 kWh m<sup>-2</sup> au cours d'une année.

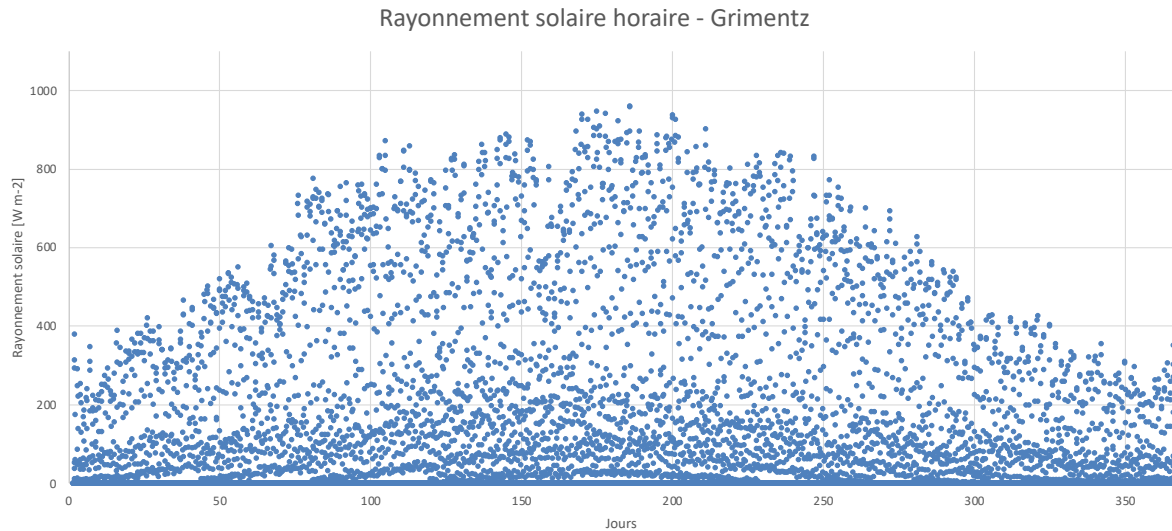


Figure 4 : Rayonnement solaire horaire reçu au cours d'une année sur le site de Grimentz, valeurs estimées par interpolation (Eq. 3 ; Eq. 4).

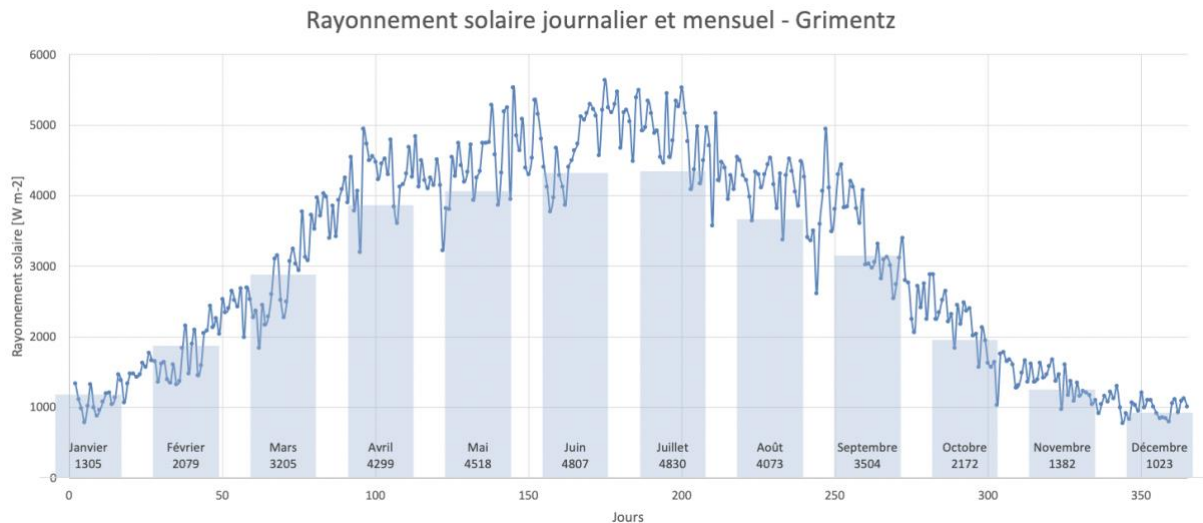


Figure 5 : Rayonnement solaire mensuel et saisonnier reçu au cours d'une année sur le site de Grimentz valeurs estimées par interpolation. Totaux basés sur les calculs horaires (Eq. 3 ; Eq. 4).

Pour vérifier la précision des résultats obtenus par interpolation, ils peuvent être comparés avec des mesures in-situ. Une station de mesure est installée depuis peu sur le site de Grimentz et seules les données d'un mois sont actuellement disponible. La comparaison des valeurs estimées par interpolation et des valeurs mesurées in-situ a pu être faite pour 31 jours ; du 09 mai 9h au 08 juin 9h. La station mesure le rayonnement solaire à incidence normale qui atteint Grimentz toutes les 10 minutes. Pour permettre la comparaison, les données ont été moyennées par heure (Figure 6) puis par jour (Figure 7). Ultérieurement la manipulation pourra être faite avec les données annuelles.

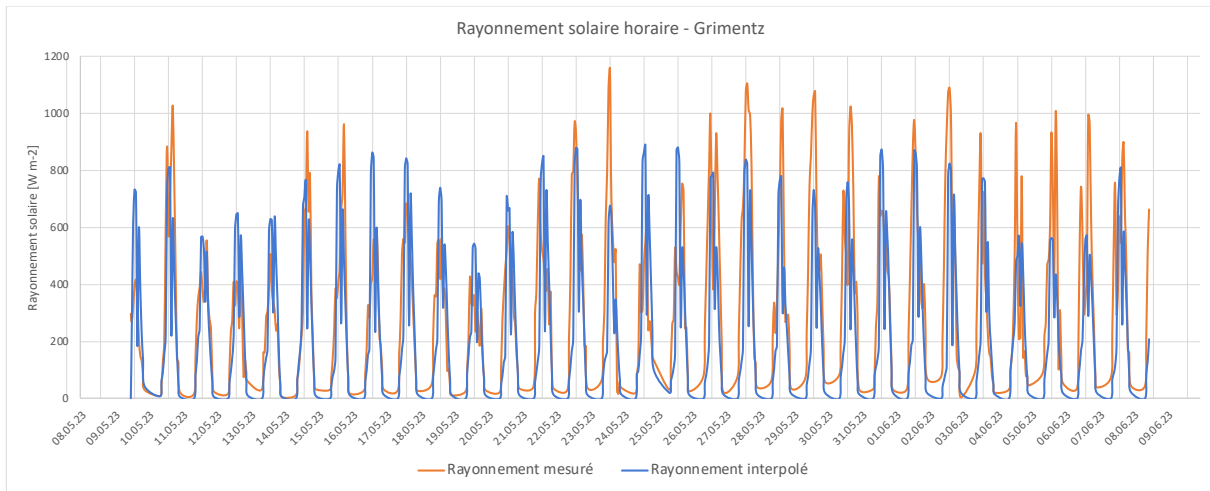


Figure 6 : Comparaison du rayonnement solaire horaire mesuré et interpolé qui atteint le site de Grimentz.

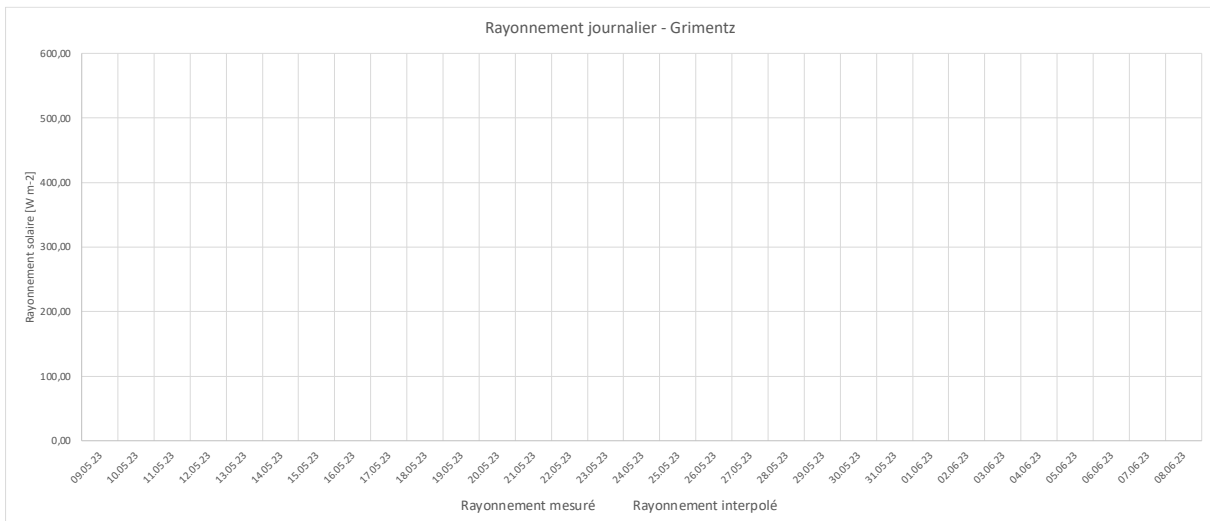


Figure 7 : Comparaison du rayonnement solaire journalier mesuré et interpolé qui atteint le site de Grimentz.

Les différences constatées entre les valeurs mesurées in-situ et les valeurs estimées sont notables mais les deux séries suivent la même tendance générale. Les différences peuvent venir du fait que d'une année à l'autre l'énergie totale reçue sur un mois par une surface peut varier considérablement. La première moitié du mois de mai 2023 a été peu ensoleillée et humide, les valeurs mesurées sont donc légèrement plus faibles que les valeurs interpolées qui considère la moyenne de cinq années. Dès le 26 mai, les valeurs mesurées sont considérablement plus importantes avec des écarts jusqu'à  $235 \text{ [W m}^{-2}\text{]}$  entre les deux séries. La fin du mois de mai et le début du mois de juin 2023 ont été particulièrement ensoleillé et chaud en Suisse ce qui explique les différences observées sur la Figure 7 (MeteoSuisse, 2023). Idéalement, la comparaison devrait se faire sur l'ensemble de l'année. Les deux méthodes de mesures sont complémentaires, et lorsque l'interpolation est suffisamment fiable et prouve son exactitude, elle peut être utilisée pour éviter la mise en place de stations météorologiques sur chaque site

étudié. Cette méthodologie paraît prometteuse au vu des résultats de la comparaison et pourrait être approfondie.

Lors d'études préliminaires dans le domaine de l'énergie solaire, la détermination par des mesures in-situ du rayonnement solaire total qui atteint une surface nécessite des ressources financières et temporelles importantes. C'est notamment le cas lorsque les stations météorologiques doivent être installées dans des environnements alpins difficiles d'accès. L'interpolation des données existantes constitue dès lors un précieux outil. Les outils SIG ont été d'une grande utilité dans ce domaine, permettant de déterminer les stations météorologiques à proximité du site d'étude et de calculer le masque d'occultation lié au relief. Par la suite, pour déterminer le rayonnement solaire atteignant le site, il n'a pas été nécessaire de recourir à la géomatique, car le traitement des données et la série de calculs ont pu être réalisés à partir d'Excel. En ce qui concerne la détermination du productible des panneaux solaires, cela dépend de leurs caractéristiques telles que le rendement des modules, l'orientation, l'inclinaison et la surface. Cependant, l'ensemble de ces informations n'a pas encore été déterminé, et les manipulations suivantes ne relèvent plus du domaine de la géomatique. Par conséquent, la suite du calcul du productible n'est pas inclus dans le cadre de ce stage.

### 3.2. Éblouissement

L'engouement récent pour les énergies renouvelables, qui se traduit notamment par la floraison de nouvelles installations PV, soulève tout de même certaines préoccupations des communautés locales et des gouvernements concernant les impacts environnementaux, territoriaux et paysagers qui en découlent (Chiabrando et al., 2009). Une des problématiques récurrentes est liée aux effets d'éblouissement. La lumière du soleil reflétée par des éléments artificiels tels que des façades de verre, des vitres, des installations photovoltaïques ou des capteurs solaires peut entraîner des nuisances visuelles. L'éblouissement, par définition, se produit lorsque l'œil reçoit un rayon d'une importante luminance qui entraîne une perte temporaire ou un affaiblissement de la vision (Chiabrando et al., 2009). Les installations PV génèrent parfois un reflet qui peut compromettre la sécurité ou le confort de la population aux alentours (Rose & Wollert, 2015). L'effet est d'autant plus important pour les grandes installations, car il est cumulé sur une surface plus étendue, générant une gêne plus intense et plus longue.

En Suisse, ces effets sont réglementées par la loi sur la protection de l'environnement (LPE) et doivent être limités autant que possible. La problématique de l'éblouissement doit être considérée à titre préventif dans la phase de planification d'une nouvelle structure. Pour minimiser ces effets, l'ordonnance sur l'aménagement du territoire (OAT) exige dès la mise en place d'une nouvelle structure que :

- Les installations solaires soient peu réfléchissantes selon l'état des connaissances techniques.
- Les modules soient inclinés et orientés de manière à amoindrir les effets d'éblouissement en cas de gêne pour le voisinage.

Bien que les technologies PV modernes soient capables d'absorber une grande partie de la lumière du soleil, certaines dispositions restent problématique en fonction de l'angle des panneaux, de leur orientation et de la visibilité du site. Des études approfondies sur les problèmes d'éblouissement sont donc nécessaires pour garantir la sécurité et le confort de la population, c'est une étape cruciale pour le succès et l'acceptation des énergies renouvelables. Cependant, mesurer la gêne lumineuse induite par une installation n'est pas chose aisée du fait que le niveau d'inconfort visuel et l'impact psychologique qui en découle relève des perceptions humaines propre à chacun (Rose & Wollert, 2015). Swissolar (2021) a néanmoins émit certaines valeurs indicatives à respecter pour limiter autant que possible les éblouissements importants (Annexe C).

De nombreux bureaux spécialisés propose des études de réverbération via des logiciels conçus spécifiquement pour ces analyses (p.ex SunReverb de Solaïs). Dans ce travail, l'objectif est d'explorer la question de l'éblouissement dans les environs des différents sites d'implantations mis à l'étude par Alpiq grâce aux outils géomatiques.

### *Methodologie*

Dans un premier temps, le sujet a été abordé de manière qualitative par l'élaboration d'une notice sur le cadre réglementaire Suisse et des recommandations concernant les effets d'éblouissement. Cette première étape, bien que ne relevant pas de la géomatique, était nécessaire pour contextualiser les enjeux juridiques liés à cette problématique. La notice



répertorie également les critères permettant d'identifier les installations potentiellement sujettes aux effets d'éblouissement (Annexe C).

Dans un second temps, afin de déterminer si le sujet de l'éblouissement est déterminant pour chaque site et en quel proportion, une analyse de visibilité est nécessaire. Pour ce faire, l'outil « Viewshed » de QGIS a été utilisé. Il permet de déterminer la surface visible d'un ou de plusieurs points d'observations donnés en se basant sur un MNT. C'est une analyse indicative qui fournit une bonne première appréciation des lieux depuis lesquels les projets d'implantation de panneaux solaires sont visibles. Tout d'abord, l'outil demande de créer un ou plusieurs « Viewpoints » qui seront utilisés pour l'analyse de visibilité. Dans ce travail, cinq points ont été définis pour chaque périmètre d'implantation. Il est également possible de définir le rayon de l'analyse, ici 5 km ont été jugés suffisants, au-delà on considère que le relief montagnard obstrue naturellement la vue. L'outil demande également la hauteur de l'observateur qui correspond dans cette étude à la hauteur des panneaux solaires (4m) et la taille de la cible qui équivaut à la hauteur moyenne de vision (1,60m). Le résultat du Viewshed est une carte de visibilité, en format raster, qui classe le terrain entourant les points d'observations en visible, partiellement visible et non visible avec des valeurs de 0 à 5 ; 0 aucun point n'est visible donc le site est hors du champ de vision de l'observateur à cet endroit-là, et 5 tous les points sont visibles ce qui correspond à l'entièreté du site. Une partie de l'étude a également été réalisée avec un MNT d'une résolution de 2m mais très peu de différences ont été observées, ainsi le MNT à 25m de résolution a été jugé suffisant pour cette étude.

Ensuite, il reste à identifier les zones sensibles situées dans le champ de visibilité de l'installation, telles que les zones bâties, les lieux touristiques et les secteurs protégés paysagers et naturels en croisant ces couches SIG avec les couches résultantes de l'outil Viewshed. L'étude d'inter visibilité a été réalisée pour les cinq projets PV alpin à l'étude chez Alpiq, avec une approche particulière pour Ovronnaz qui comprend cinq sous-sites analysés séparément avec un seul Viewpoint, puis ensemble :

- Pra Fleuri
- Gondo Solar
- Grimentz
- Ovronnaz Chavanne-Neuve
- Ovronnaz Châtillon
- Ovronnaz Lui Fleurie

- Ovronnaz Tsantonnaire 1
- Ovronnaz Tsantonnaire 2
- Ovronnaz total des cinq sous-sites

Il existe un outil conçu par le canton de Berne et recommandé par l’OFEV (Office fédéral de l’environnement), le « Blendtool », qui est une application web pour évaluer et anticiper les effets d’éblouissement causé par la lumière du soleil sur les surfaces réfléchissantes. L’outil est accessible gratuitement. Il est efficace pour analyser les effets d’immission des panneaux solaires, et permet aux professionnels et particuliers de prendre les mesures de limitation des effets nécessaires dès la conception du projet. L’application permet aisément de modifier l’orientation (azimut) et l’inclinaison des panneaux et informe les planificateurs de projet sur la meilleure configuration de l’installation. Les résultats obtenus sont basés sur des calculs scientifiques, rigoureux et validés, mais la confédération insiste sur le fait que l’appréciation finale des émissions et nuisances doit tout de même être effectuée par un expert. De plus, le Blendtool ne considère pas les obstacles topographiques et nécessite pour cela également un regard externe. En somme, le Blendtool constitue un outil précieux pour une première évaluation du potentiel d’éblouissement vis-à-vis des lieux sensibles (Canton de Berne, 2023).

### *Résultats et discussion*

Le traitement Viewshed de QGIS permet d’obtenir des cartes de visibilité utile pour déterminer les lieux sensibles aux effets d’éblouissement en recoupant les données du territoire avec le résultat de l’analyse de visibilité d’un site. La Figure 8 montre l’analyse de visibilité pour Grimentz basée sur cinq points d’évaluation. Les autres analyses sont visibles en Annexe D.

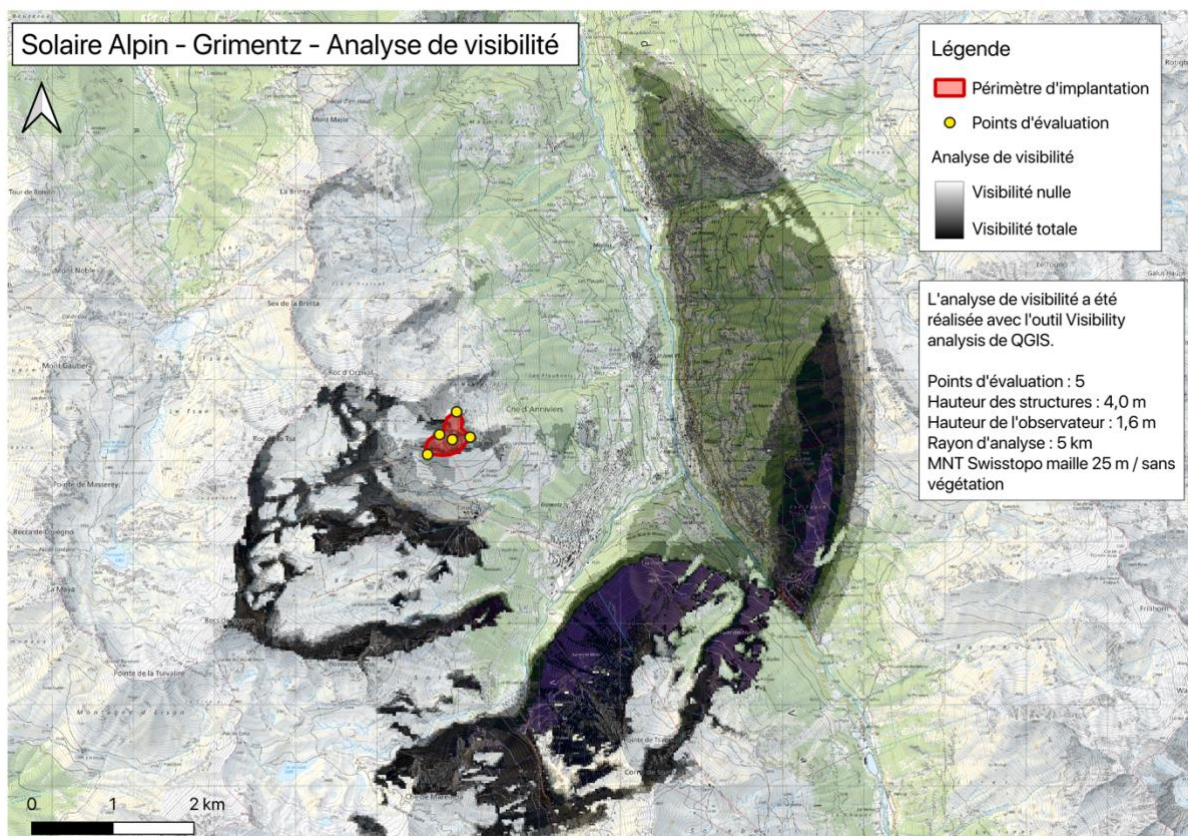


Figure 8 : Représentation cartographique de l'analyse de visibilité du site d'étude de Grimentz.

Le site de Grimentz est partiellement ou totalement visible depuis les zones représentées respectivement en gris et en noir. Cependant, les cinq points d'évaluation ne couvrent pas l'intégralité du site, ce qui signifie qu'à certains endroits considérés sur la Figure 8 hors du champ de vision, une partie de l'installation pourrait être visible. De plus, il est important de prendre en compte le fait que nous parlons ici de projets solaires de grande envergure, donc même si un seul point du site est visible, cela peut correspondre à plusieurs dizaines voire centaines de panneaux solaires.

Néanmoins, la carte de visibilité permet une bonne première appréciation des zones ayant un visuel direct sur l'installation solaire. Les zones aux alentours du site d'implantation de Grimentz qui sont potentiellement sujettes aux éblouissements sont recensées dans le Tableau 2. Ces zones sont sensibles du fait qu'elles se trouvent dans le champ de vision du site et qu'elles sont en général un lieu de passage ou de vie.

Tableau 2 : Lieux sensibles aux questions d'éblouissement. L'exposition est déterminée subjectivement sur la base du temps de résidence des personnes dans chaque zone.

Zones sensibles identifiées	Points visibles	Exposition
Télesiège des Grands Plans	2	Faible
Télesiège Col du pouce	5	Faible
Télesiège Tsarva	4	Faible
Télécabines Grimentz - Sorebois	5	Faible
Restaurant Bendolla	1	Importante
Route cantonale	2	Moyenne
Villages du versant Est du val d'Annivier : Ayer, Mission, St-Luc	2	Importante
Itinéraires de ski de randonnée et sentiers pedestres	1 à 5	Moyenne

L'analyse de visibilité est une étude préliminaire qui permet d'obtenir une première estimation des emplacements à partir desquels les projets sont visibles. Ensuite, pour une étude complète, il faudrait déterminer la trajectoire des rayons lumineux et l'intensité de l'éblouissement reçu dans les zones à risque. Les outils SIG sont un peu dépassés pour ce type d'analyses et ainsi intervient l'outil Blendtool. Il permet de confirmer si les zones identifiées sont effectivement exposées aux rayons réfléchis par la surface des panneaux, en fonction de leur orientation et de leur angle d'inclinaison. Pour Grimentz, l'installation initialement prévue est orientée vers le sud avec des panneaux inclinés à 70° (angle optimal pour une productivité hivernale). Les résultats de cette analyse sont présentés ci-dessous.

L'outil détermine une zone dans laquelle les reflets peuvent être problématiques en fonction de l'orientation et de l'angle d'inclinaison des panneaux. Les endroits en dehors de cette zone ne devraient a priori pas être affectés par les effets d'éblouissement. Enfin, le Blendtool analyse l'intensité et la durée de l'éblouissement pour certains points précis. Pour cette étude, cinq points ont été répartis autour de la zone d'étude, représentant différentes configurations problématiques en cas d'exposition aux rayons réfléchis (lieux de passage ou de vie) :

1. Point hors du champ de vision du site selon l'outil Viewshed ; village de Grimentz
2. Point depuis lequel le site est partiellement visible (1 point) ; terrasse du restaurant d'altitude de Bendolla
3. Point depuis lequel le site est partiellement visible (3 points) ; village de St-Luc
4. Point depuis lequel l'entièreté du site est visible ; télécabine Grimentz-Sorebois
5. Point à proximité immédiate du site ; chemin de randonnée

Le Tableau 3 et la Figure 9 présentent les informations sur le lieu d'émission (emplacement des panneaux au-dessus de Grimentz) et les points immissions avec une visualisation de leur répartition sur le territoire.

Tableau 3 : Caractéristiques du point d'émission de la source lumineuse (panneaux solaires) et des points d'immissions considérés.

#### Émission

Latitude [°]	Longitude [°]	Azimut [°]	Inclinaison [°]	Hauteur au-dessus du sol [m]	Altitude du terrain [m]	Longueur [m]	Largeur [m]	Élargissement du faisceau [°]	Plage d'intérêt, angle min [°]	Plage d'intérêt, angle max [°]	Année
46.1886	7.5533	180	70	4	2404.1	530	450	5	-30	30	2023

#### Immission

ID	Latitude [°]	Longitude [°]	Hauteur au-dessus du sol [m]	Altitude du terrain [m.ü.M.]
1	46.178561	7.574193	1.6	1591.4
2	46.180119	7.558191	4	2131.2
3	46.220008	7.598312	1.6	1658.2
4	46.165118	7.583184	55	2376.6
5	46.185736	7.556319	1.6	2276.3

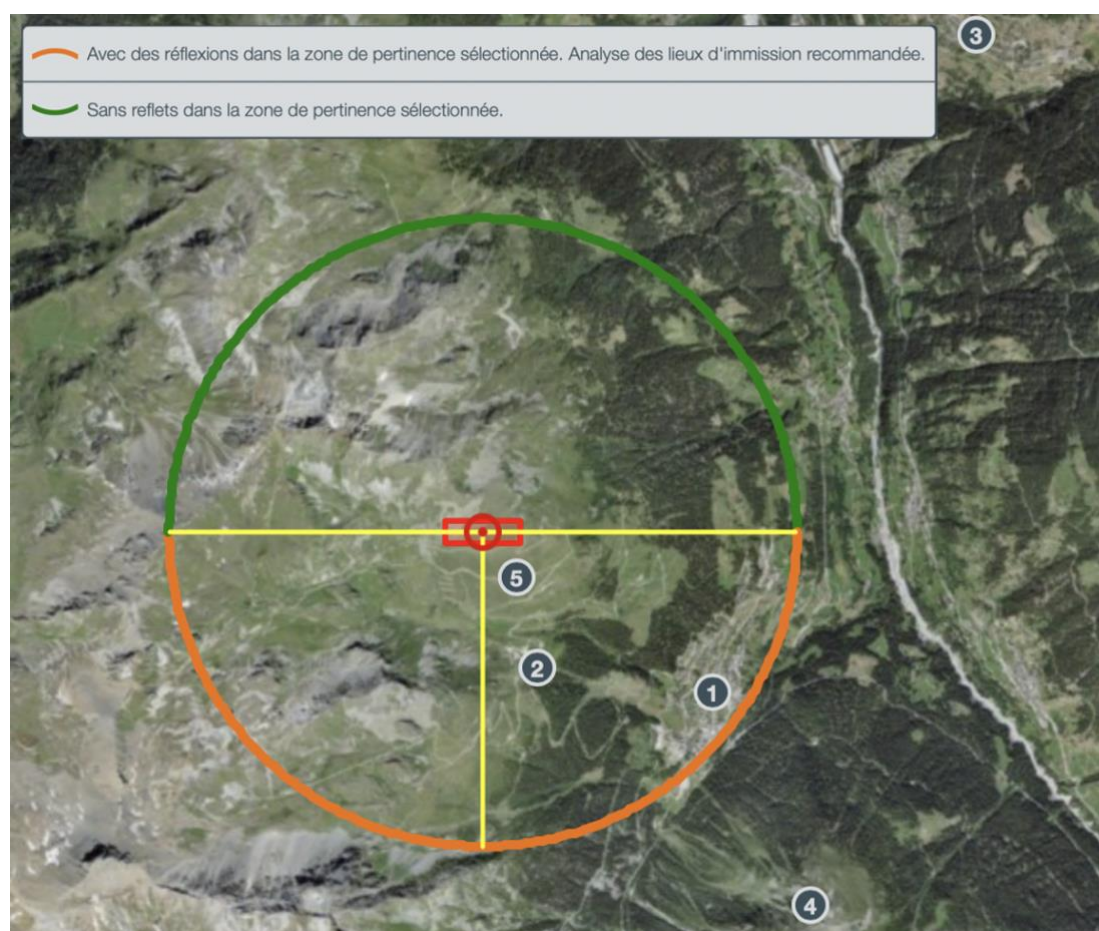


Figure 9 : Plan de situation des cinq points d'immissions aux alentours de la zone d'étude. En orange zone présentant un risque d'éblouissement dû à la configuration des panneaux solaires.

La Figure 10 illustre le trajet du soleil dans le ciel tout au long de l'année au-dessus du site d'implantation.

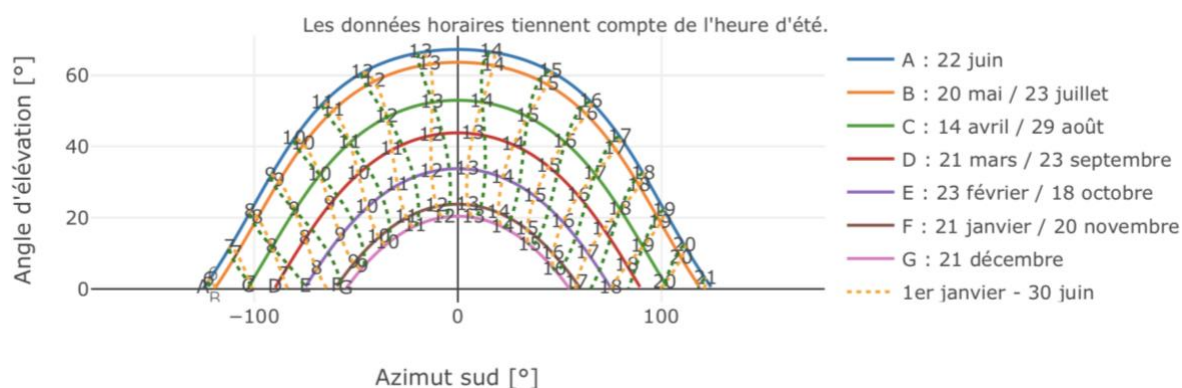


Figure 10 : Course du soleil au centre de la surface réfléchissante sur l'année.

Le Tableau 4 contient les résultats de l'analyse pour chaque point d'immission considérés avec un indicateur de risque associé selon les recommandations de Swissolar. En orange, le seuil recommandé est dépassé. La durée d'exposition par année ne tient pas compte des conditions météorologiques qui doivent être considérées ultérieurement.

Tableau 4 : Résultat de l'analyse Blendtool pour chaque point d'immission avec des panneaux inclinés à 70° au sud. En vert : situation non critique (<20h d'éblouissement par an). En orange un trait : situation peu critique (20h-50h d'éblouissement par an). En orange deux traits : situation critique (>50h d'éblouissement par an).

Immission	Surface [m <sup>2</sup> ]	Distance [m]	Rapport dimension/distance	Angle de vision [°]	Nombre de jours avec moins de 30 minutes d'éblouissement	Nombre de jours avec 30 à 60 minutes d'éblouissement	Nombre de jours avec supérieure à 60 minutes d'éblouissement	Durée d'éblouissement [h] par an	Indicateur de risque
1	238500.00	1961.63	0.3544	20.10	9.00	115.00	0.00	95.65	^^
2	238500.00	1015.62	0.6846	37.79	13.00	21.00	163.00	349.22	^^
3	238500.00	4925.53	0.1412	8.07	0.00	0.00	0.00	0.00	—
4	238500.00	3484.24	0.1995	11.40	2.00	60.00	0.00	44.85	^
5	238500.00	394.59	1.7620	82.76	0.00	19.00	344.00	1400.92	^^

Dans le cas de figure présenté ci-dessus, les résultats sont alarmants. Quatre des cinq points étudiés dépasse les normes indicatives de Swissolar dont trois de manière critique. Attention tout de même à ne pas oublier que l'outil ne considère pas les obstacles topographiques, il pourrait y avoir un élément du paysage qui intercepte les rayons lumineux avant qu'ils n'atteignent l'observateur, ce sont des éléments à étudier in-situ. De plus, le Blendtool considère le périmètre dans son ensemble comme une seule surface réfléchissante, alors qu'en réalité, il est composé de plusieurs rangées de panneaux solaires qui ne couvrent pas intégralement cette

surface et peuvent parfois se masquer les uns les autres. Cet outil apporte de nouvelles précisions, notamment concernant le village de St-Luc qui avait été identifié comme étant à risque lors de l'analyse de visibilité. Cependant, dû à l'orientation des panneaux solaires, il s'avère que le village est finalement hors de danger. Une mesure simple et efficace pour limiter les réflexions serait de modifier légèrement l'angle d'inclinaison des panneaux. Le Tableau 5 présente les résultats du Blendtool pour une configuration similaire à la Figure 9 mais avec un angle d'inclinaison des panneaux de 50° et non plus de 70°.

Tableau 5 : Résultat de l'analyse pour chaque point d'immission avec des panneaux inclinés à 50° au sud. En vert : situation non critique (<20h d'éblouissement par an). En orange un trait : situation peu critique (20h-50h d'éblouissement par an). En orange deux traits : situation critique (>50h d'éblouissement par an).

Immission	Surface [m²]	Distance [m]	Rapport dimension/distance	Angle de vision [°]	Nombre de jours avec moins de 30 minutes d'éblouissement	Nombre de jours avec 30 à 60 minutes d'éblouissement	Nombre de jours avec supérieure à 60 minutes d'éblouissement	Durée d'éblouissement [h] par an	Indicateur de risque
1	238500.00	1961.63	0.3544	20.10	0.00	0.00	0.00	0.00	—
2	238500.00	1015.62	0.6846	37.79	0.00	0.00	0.00	0.00	—
3	238500.00	4925.53	0.1412	8.07	0.00	0.00	0.00	0.00	—
4	238500.00	3484.24	0.1995	11.40	15.00	59.00	0.00	47.12	^
5	238500.00	394.59	1.7620	82.76	21.00	32.00	127.00	468.78	^^

Le résultat est probant. Il n'y a plus qu'un seul cas de figure préoccupant sur les cinq étudiés. L'outil Blendtool est d'une grande aide préliminaire pour l'élaboration de projets. Si toutefois, la question de l'éblouissement demeure problématique, alors il est recommandé de faire appel à une entreprise externe pour réaliser une étude détaillée (par exemple Solaïs en France ou Basler & Hoffman en Suisse).

Les outils SIG ont démontrés leur utilité dans l'analyse préliminaire des questions d'éblouissement, néanmoins ils ne permettent pas de faire une étude approfondie de la trajectoire et de l'intensité des rayons du soleil qui atteigne une cible, du moins pas dans le temps imparti pour ce stage.

### 3.3. Analyse multicritère

La planification et l'installation de grandes installations solaires nécessitent une analyse environnementale approfondie du site d'implantation des panneaux. Dans une étude de faisabilité, il est essentiel de prendre en compte toutes les contraintes environnementales et législatives qui pourraient limiter ou compromettre la réalisation du projet. Alpiq souhaitait développer un outil multicritère permettant d'obtenir rapidement et efficacement un aperçu des contraintes spécifiques à un site d'étude. Cet outil d'aide à la décision permet de comparer différents scénarios et de sélectionner les plus appropriés (Prévil et al., 2003).

#### *Méthodologie*

Une matrice multicritère répertorie tous les éléments environnementaux à prendre en compte lors d'une étude de site. Cela commence par l'établissement d'un inventaire des données cartographiques pertinentes disponibles au niveau fédéral et/ou cantonal. Les différentes catégories sont répertoriées dans un tableau Excel, avec la description des données, leur disponibilité et leur impact potentiel sur un projet de solaire alpin.

Ensuite, une interface SIG est développée pour visualiser les données recensées, en utilisant la plateforme QGIS accessible gratuitement. Cette interface permet de visualiser directement les catégories de données environnementales, pour la plupart couvrant l'ensemble du territoire suisse et pour certaines spécifiques à chaque canton.

Le format de données d'information géographique utilisé de préférence est le WMS (Web Mapping Service). Il permet de regrouper toutes les données disponibles dans un seul projet QGIS sans devoir les télécharger sur le disque local de l'ordinateur. En utilisant le WMS, il suffit de spécifier l'URL des métadonnées dans le logiciel SIG. Les offices fédéraux et cantonaux mettent une partie des données en libre accès au format WMS, ce qui présente certains avantages. Tout d'abord, cela ne nécessite pas d'espace de stockage local, car les données géographiques sont directement consultées à partir de la source en ligne. De plus, les données sont constamment mises à jour, garantissant leur actualité. Cependant, l'utilisation du WMS nécessite une connexion internet active, et les données sont affichées sous forme d'images et non d'éléments vectoriels intégrés au logiciel. Par conséquent, il n'est pas possible de réaliser des traitements de données avancés, il est seulement possible de visualiser les



informations géographiques en tant qu'images superposées dans l'interface SIG. Certaines informations ne sont pas disponibles dans le format WMS, il faut alors télécharger la donnée ou la commander auprès des services de références.

Enfin, la matrice multicritère et l'interface QGIS peuvent être utilisés concrètement pour évaluer la faisabilité de certains périmètres d'étude.

### *Résultats et discussion*

La matrice multicritère est présentée en Annexe E. Elle récence 10 catégories et 51 sous-catégories ou couches de données dans QGIS.

- Faune et Flore
- Paysage
- Patrimoine
- Eaux souterraines
- Eaux de surface
- Loisirs
- Infrastructures
- Dangers naturels
- Sols et sous-sol
- Énergie

L'application de la matrice multicritère à certains sites d'implantation étudiés a démontré son utilité concrète et sa facilité d'utilisation. Alpiq avait déjà effectué des investigations préliminaires sur ces sites avant de les proposer, mais cette matrice sera d'une grande valeur à l'avenir lorsqu'Alpiq recherchera de nouveaux emplacements. Une fois les contraintes environnementales identifiées à l'aide de l'interface QGIS, il est possible de générer des cartes pour une visualisation des contraintes. Cet exercice a été réalisé pour Pra Fleuri (Figure 11).

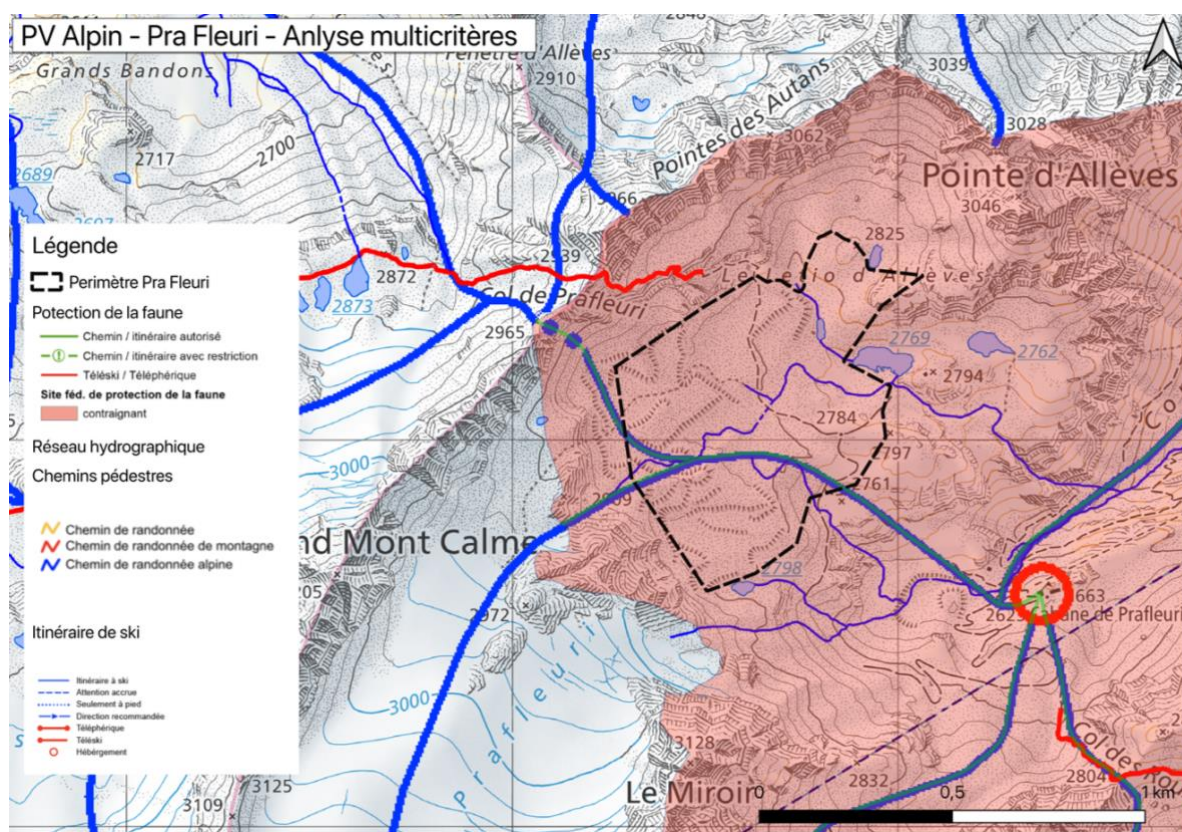


Figure 11 : Visualisation des contraintes sur le site de Pra Fleuri.

Le secteur de Pra Fleuri se situe entièrement sur une zone contraignante de protection de la faune, qui interdit toutes constructions. Néanmoins, les projets solaires revêtent une importance fédérale prépondérante, ce qui n'exclut pas leur mise en place. De plus, deux itinéraires de randonnée à ski traversent la zone et il y a plusieurs plans d'eau présents. Grâce à l'interface QGIS, il est facile de constater que le site de Pra Fleuri présente des conditions qui ne sont pas idéales pour l'implantation d'un projet solaire d'envergure, mais il n'y a pas de contraintes rédhibitoires pour le projet.

La géomatique et les outils SIG sont parfaitement adaptés aux analyses multicritères, permettant ainsi de recenser facilement la majorité des informations nécessaires dans le processus décisionnel des projets solaires alpins. L'interface QGIS, simple d'utilisation et disponible gratuitement, est particulièrement utile à cet égard. De plus, le format de données WMS présente des avantages significatifs dans le traitement de volumes de données considérables. Cependant, il convient de noter que les sorties cartographiques peuvent parfois manquer de lisibilité, étant donné que les données géospatiales sont insérées au logiciel sous forme d'images et non en tant que telles. Par conséquent, les légendes ne sont pas modifiables en termes de symbologie, de police et de taille. Les données WMS peuvent être utilisées pour identifier les

contraintes puis il est possible de télécharger les données d'intérêt pour d'éventuels manipulations et pour l'élaboration de cartes propres et lisibles.

## 4. Conclusion

Pour conclure, la géomatique a démontré son utilité pour le traitement de sujets liés à l'énergie solaire. Elle a permis de déterminer le masque d'occultation du relief, essentiel pour le calcul du productible solaire en un point donné du territoire. Elle peut donc aider à la prise de décision quant à l'emplacement des installations solaires pour obtenir le meilleur rendement possible. Concernant les questions d'éblouissement liés aux panneaux solaires, les outils SIG ont montré certaines limites dans leur utilité. Les analyses de visibilité permettent une première appréciation des lieux potentiellement exposés à une gêne visuelle. Cependant, il s'est avéré complexe de déterminer la trajectoire des rayons lumineux en fonction du positionnement des panneaux, de la course du soleil ainsi que leur intensité, du moins avec le temps et les ressources disponibles dans le cadre de ce stage. Enfin, l'analyse multicritère a pu être réalisée dans son ensemble avec l'aide de la géomatique pour la visualisation des données.

Ce rapport de stage présente des pistes d'actions et de réflexion sur l'intérêt de la géomatique dans les domaines de l'environnement et de l'aménagement du territoire. Elle représente un réel outil d'aide à la décision pour les entreprises telles qu'Alpiq.

### *Réflexions sur le déroulement du stage*

Ces deux mois de stage chez Alpiq se sont globalement bien déroulés. Je souhaitais mettre en pratique les connaissances théoriques acquises lors des cours du certificat au service de projets concrets, et Alpiq a su me proposer cette opportunité. Néanmoins, le stage présentait certains aspects plus proches d'un mémoire de recherche avec une thématique fournie par l'entreprise, plutôt que d'un stage en entreprise traditionnel. En effet, j'ai passé très peu de temps à travailler sur place et j'ai principalement effectué mes travaux depuis l'UNIGE. Cela a présenté des avantages tels qu'une plus grande flexibilité, autonomie et moins de temps de trajet. Cependant, j'avais également souhaité faire un stage et non un mémoire académique pour découvrir un environnement professionnel différent de l'université.

Le fait de traiter trois sujets m'a permis d'acquérir des compétences plus diversifiées et d'avancer sur d'autres aspects lorsque l'un des projets stagnait ou s'avérait difficile à traiter en géomatique. Néanmoins, je n'ai pas eu l'opportunité d'approfondir pleinement l'un des sujets, faute de temps et/ou de compétences pour mener une étude complète et obtenir des résultats définitifs. Cela aurait été satisfaisant d'un point de vue personnel et aurait également pu être plus bénéfique pour Alpiq. En fin de compte, j'ai plutôt ouvert des pistes de recherche dans les trois domaines.

La mise en route et le suivi de la part d'Alpiq étaient bons, bien que mon seul interlocuteur finalement ait été Cassien. Il s'est montré très disponible et réactif dans nos échanges de mails et pour les réunions. Son regard professionnel et ses conseils m'ont été précieux et formatifs.

Un problème rencontré était lié à l'échange de données, car je n'avais pas accès aux ressources internes de l'entreprise. J'avais uniquement accès à la plateforme de partage en tant que lectrice et non en tant qu'éditrice. Par conséquent, nous avons dû demander à plusieurs reprises au service informatique une solution, et finalement nous devions passer par mail ou par des services externes tels que WeTransfer pour les fichiers plus volumineux.

Dans l'ensemble, malgré ces quelques points à prendre en compte, j'ai apprécié mon expérience de stage chez Alpiq et j'ai pu développer mes compétences en géomatique, tout en bénéficiant d'un accompagnement professionnel. J'ai également pris conscience des aspects pratiques et organisationnels qui peuvent influencer le déroulement des projets au sein de l'entreprise. À travers cette expérience, j'ai pu acquérir une vision globale sur les enjeux énergétiques en Suisse ainsi que des compétences précieuses en géomatique.

## 5. Bibliographie

- Alpiq. Consulté le 8 mai 2023, depuis <https://www.alpiq.ch/fr/>
- Canton de Berne. Blendtool. Consulté le 23 mai 2023, depuis <https://www.blendtool.ch>
- Chiabrando, R., Fabrizio, E., & Garnero, G. (2009). The territorial and landscape impacts of photovoltaic systems: Definition of impacts and assessment of the glare risk. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2441–2451.
- Creutzig, F., Agoston, P., Goldschmidt, J. C., Luderer, G., Nemet, G., & Pietzcker, R. C. (2017). The underestimated potential of solar energy to mitigate climate change. *Nature Energy*, 2(9), 17140.
- Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC. (2023). Rapport explicatif concernant les dispositions d'ordonnance liées à l'art. 71a LEn. Confédération Suisse.
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar engineering of thermal processes*. John Wiley & Sons. ISO 690.
- Kabir, E., Kumar, P., Kumar, S., Adelodun, A. A., & Kim, K. H. (2018). Solar energy: Potential and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 894-900.
- Kahl, A., Dujardin, J., & Lehning, M. (2019). The bright side of PV production in snow-covered mountains. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(4), 1162-1167.
- Megantoro, P., Syahbani, M. A., Sukmawan, I. H., Perkasa, S. D., & Vigneshwaran, P. (2022). Effect of peak sun hour on energy productivity of solar photovoltaic power system. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 11(5), 2442–2449.
- MétéoSuisse. (2023). Bilan de mai et du printemps 2023. MétéoSuisse Blog. Consulté le 8 juin 2023, depuis <https://www.meteosuisse.admin.ch/portrait/meteosuisse-blog/fr/2023/05/bilan-de-mai-et-du-printemps-2023.html>
- Office fédérale de l'énergie. (2022). L'électricité produite en Suisse en 2021. Consulté le 9 juin 2023, depuis <https://www.admin.ch/gov/fr/accueil/documentation/communiques.msg-id-90221.html#:~:text=L%27électricité%20produite%20en%20Suisse,mix%20de%20production%20suisse%202021>
- Prévil, C., Thériault, M., & Rouffignat, J. (2003). Analyse multicritère et SIG pour faciliter la concertation en aménagement du territoire : vers une amélioration du processus décisionnel ?. *Cahiers de géographie du Québec*, 47(130), 35-61.
- Rose, T., & Wollert, A. (2015). The dark side of photovoltaic—3D simulation of glare assessing risk and discomfort. *Environmental Impact Assessment Review*, 52, 24–30.
- Swissolar. (2023). Photovoltaïque. Consulté le 5 avril 2023, depuis <https://www.swissolar.ch/fr/connaissances/technologies-solaires>
- Université de Genève (2023). Certificat complémentaire en géomatique. Consulté le 8 juin 2023, depuis <https://www.unige.ch/cgeom/>

## 6. Annexes

A. Fiches descriptives des thématiques de stage .....	31
B. Script Python du masque d'occultation du site de Grimentz .....	34
C. Notice sur l'éblouissement .....	35
D. Analyses de visibilité.....	43
E. Matrice multicritère .....	49

## A. Fiches descriptives des thématiques de stage

<b>Sujet :</b>	<b><i>Solaire alpin - productible</i></b>
Superviseurs :	<i>Gregory Giuliani ;</i>
Durée :	<i>2-3 mois ; période : printemps ou automne 2023</i>
Lieu :	<i>Alpiq Chemin de Mornex 10 1001 Lausanne</i>
Objectifs :	<p><i>Afin de renforcer la production d'électricité de la Suisse en hiver, le Conseil fédéral autorise la construction d'installation photovoltaïque hors des zones à bâtir. En raison des conditions d'ensoleillement favorables, de nouveaux projets sont envisagés dans le domaine alpin Dans ce cadre-là, Alpiq, principal producteur d'énergie en Suisse, assure l'expertise en termes de gestion de projet, de production et de commercialisation de l'électricité.</i></p> <p><i>L'étude proposée vise à améliorer la faisabilité, et la précision du calcul du potentiel de productible issu de l'énergie solaire sur un certain nombre de sites prédéfinis en région alpine. Il s'agit d'évaluer, entre autres, le rayonnement solaire globale (source d'énergie), l'orientation des pentes (Est-Ouest et Nord-Sud), la durée de l'enneigement et des hauteurs de neige (albedo, indisponibilité de l'aménagement) et la température ambiante (efficacité du panneau). En fonction du temps, l'évolution de certaines de ces composantes sera étudiée à l'aide des scénarios climatiques pour la Suisse - CH2018.</i></p>
Tâches :	<p><i>Elaboration de cartes de rayonnement solaire à haute résolution spatiale en région alpine, et comparaison avec les données mesurées in-situ. En tenant compte de données d'albedo provenant d'images satellites, préparation d'une base de données qui permette de calculer les durées d'enneigement de chacun des sites d'implantation (valeur moyenne, tendance et variabilité). Les caractéristiques spécifiques topographiques de chacun des sites d'implantation seront analysées.</i></p> <p><i>Travail en coordination avec un chef de projet – et environnement de Alpiq.</i></p>
Livrables :	<p><i>Rapport méthodologique (visant à assurer la reproductibilité de la démarche)</i></p> <p><i>Cartes et série temporelle de rayonnement solaire, albedo et couverture neigeuse (passé : 10 ans, év. futur : +40 ans)</i></p> <p><i>Fiches synthétiques par site d'implantation</i></p>
Qualifications :	<p><i>Pouvoir travailler de manière indépendante et proactive</i></p> <p><i>Intérêt pour les données environnementales</i></p> <p><i>Intérêt pour les énergies renouvelables</i></p> <p><i>Une bonne connaissance des outils ArcGIS (10.6 et/ou Pro). Une connaissance de base d'autres outils SIG (par exemple, FME).</i></p>

**Sujet : *Solaire alpin – effet d'éblouissement***

Superviseurs : *Gregory Giuliani ;*  
Durée : *2-3 mois ; période : printemps ou automne 2023*  
Lieu : *Alpiq*  
*Chemin de Mornex 10*  
*1001 Lausanne*

Objectifs : *Afin de renforcer la production d'électricité de la Suisse en hiver, le Conseil fédéral autorise la construction d'installation photovoltaïque hors des zones à bâtir. En raison des conditions d'ensoleillement favorables, de nouveaux projets sont envisagés dans le domaine alpin. Dans ce cadre-là, Alpiq, principal producteur d'énergie en Suisse, assure l'expertise en termes de gestion de projet, de production et de commercialisation de l'électricité.*

*L'étude proposée vise à intégrer la problématique des effets d'éblouissement sur le territoire dus à des installations solaires de grande envergure. Les critères devront être déterminés (ex. : critères indicatifs de Swissolar) d'entente avec le chef de projet.*

Tâches : *Elaboration de cartes saisonnières d'intensité de lumière réfléchie sur plusieurs sites.*

*Travail en coordination avec un chef de projet environnement de Alpiq et le team « Solaire alpin ».*

Livrables : *Rapport méthodologique (visant à assurer la reproductibilité de la démarche)*  
*Cartes saisonnières de l'éblouissement*  
*Fiches synthétiques par site d'implantation*

Qualifications : *Pouvoir travailler de manière indépendante et proactive*  
*Intérêt pour les données environnementales*  
*Intérêt pour les énergies renouvelables*  
*Une bonne connaissance des outils ArcGIS (10.6 et/ou Pro). Une connaissance de base d'autres outils SIG (par exemple, FME).*



**Sujet : *Solaire alpin – Analyse multicritère du territoire***

Superviseurs : *Gregory Giuliani ;*  
Durée : *2-3 mois ; période : printemps ou automne 2023*  
Lieu : *Alpiq*  
*Chemin de Mornex 10*  
*1001 Lausanne*

Objectifs : *Afin de renforcer la production d'électricité de la Suisse en hiver, le Conseil fédéral autorise la construction d'installations photovoltaïques hors des zones à bâtir. En raison des conditions d'ensoleillement favorables, de nouveaux projets sont envisagés dans le domaine alpin. Dans ce cadre-là, Alpiq, principal producteur d'énergie en Suisse, assure l'expertise en termes de gestion de projet, de production et de commercialisation de l'électricité.*  
*L'étude proposée vise à mettre en place un outil d'analyse multicritère permettant d'identifier et de cartographier les contraintes environnementales sur la partie alpine du territoire Suisse, permettant ainsi une évaluation rapide de la pertinence des secteurs d'implantation de solaire alpin envisagés.*

Tâches : *Inventaire des données cartographiques publiques pertinentes (niveau fédéral et cantonal), en coordination avec l'équipe Alpiq.*  
*Elaboration d'une interface SIG de visualisation des données (sur plateforme web ou desktop, QGIS de préférence).*  
*Intégration des données, via lien WMS ou format shp selon disponibilité effective.*  
*Elaboration d'une grille d'évaluation multicritère des contraintes environnementales, en coordination avec l'équipe Alpiq.*  
*Application de la méthode sur une série de périmètres potentiels de projet.*  
*Travail en coordination avec un chef de projet environnement de Alpiq et le team « Solaire alpin ».*

Livrables : *Rapport méthodologique (visant à expliciter la démarche d'inventaire et la logique d'évaluation multicritère).*  
*Interface SIG.*  
*Cartes des contraintes et grilles de scoring multicritère.*

Qualifications : *Pouvoir travailler de manière indépendante et proactive*  
*Intérêt pour les données environnementales*  
*Intérêt pour les énergies renouvelables*  
*Une bonne connaissance des outils QGIS (éventuellement ArcGIS), notamment exploitation de données via geocatalogues web.*

## B. Script Python du masque d'occultation du site de Grimentz

```
import os
import processing
import pandas as pd
import rasterio

excel_file =
"/Users/leilahottinger/Desktop/Alpiq/Productible/a
zimut.xlsx"

df = pd.read_excel(excel_file)

def ombrage(row):
    azimut = row['azimut']
    angle_vertical = row['elevation']

    input_raster =
"/Users/leilahottinger/Desktop/Alpiq/Productible/d
hm25_grid_raster.tif"
    output_raster =
f"/Users/leilahottinger/Desktop/Alpiq/Productible/
Ombrage/sortie_{azimut}_{angle_vertical}.tif"

output = processing.run("gdal:hillshade", {
    'INPUT': input_raster,
    'BAND': 1,
    'Z_FACTOR': 1,
    'AZIMUTH': int(azimut),
    'VERTICAL_ANGLE': angle_vertical,
    'COMPUTE_EDGES': False,
    'ZEVENBERGEN': False,
    'LIGHT_DIRECTION': 1,
    'OUTPUT': output_raster
})

# Chemin vers le fichier TIFF d'ombrage de la Suisse
ombrage_path = output_raster

# Coordonnées du point à analyser
x = 608852.13
y = 115243.68

# Lecture du raster
with rasterio.open(ombrage_path) as src:

# Conversion des coordonnées du point en
coordonnées de pixel
    col, row = src.index(x, y)

# Lecture de la valeur de pixel du point
    valeur_pixel = src.read(1, window=((row,
row+1), (col, col+1)))
    valeur_pixel = valeur_pixel[0][0]

# Seuil de luminosité pour considérer que le point
est au soleil
    threshold = 150

# Détermination si le point est à l'ombre ou au
soleil
    if valeur_pixel < threshold:
        return 1
    else:
        return 0

df['ombre'] = df.apply(ombrage, axis=1)

print("Opération terminée.")
```

### Gêne lumineuse et effet d'éblouissement Base légale Suisse et recommandations

---

#### Contexte réglementaire

Les énergies renouvelables sont au cœur des enjeux actuels de la stratégie énergétique suisse. La Suisse dispose d'un excellent potentiel en matière d'énergie solaire, avec potentiellement suffisamment d'apport radiatif pour répondre aux besoins énergétiques du pays. Pour encourager la mise en place d'installations solaires, la loi sur l'aménagement du territoire (LAT) et l'ordonnance sur l'aménagement du territoire (OAT) ont été révisées en 2014 pour faciliter la construction de nouvelles installations photovoltaïques, principalement sur les bâtiments. L'aspect esthétique ne constitue plus un obstacle majeur à la construction de panneaux solaires sur les toitures, à l'exception de biens ou secteurs protégés au niveau cantonal ou national en raison de leur valeur patrimoniale ou naturelle.

L'utilisation d'installations solaires peut néanmoins entraîner des effets de gêne visuelle et d'éblouissement dans l'espace bâti. Les nuisances potentielles de la lumière du soleil réfléctée par des éléments artificiels tels que des façades de verre, des revêtements métalliques, des vitres, des installations photovoltaïques ou des capteurs solaires sont réglementées par la loi sur la protection de l'environnement (LPE) et doivent être limitées autant que possible.

Le cadre juridique pour la construction d'installations solaires en Suisse est réglementé par l'art. 18a de la LAT et les art. 32a et 32b de l'OAT. Les directives et pratiques actuelles restent néanmoins en l'état ciblées sur le solaire en toiture, en l'absence de grandes installations photovoltaïques en site propre sur le territoire suisse.

La problématique de l'éblouissement doit être considérée à titre préventif dans la phase de planification d'une nouvelle structure. Pour minimiser ces effets, l'OAT exige dès l'aménagement d'une nouvelle structure que :

- Les installations solaires soient peu réfléchissantes selon l'état des connaissances techniques
- Les modules soient inclinés et orientés de manière à amoindrir les effets d'éblouissement en cas de gêne pour le voisinage.

Toutefois, le terme "peu réfléchissant" n'est pas quantitativement défini.

## Principe d'évaluation de la gêne lumineuse

De nombreux critères sont à considérer lors de l'évaluation de l'effet d'éblouissement. En première analyse, si l'installation répond positivement à un des critères ci-après, alors l'éblouissement est considéré comme impossible :

Tableau 6 : Critères pour déterminer si une installation solaire présente des risques d'éblouissement (Stickelberger & Moll, 2021).

Critères	✓ / ✗
L'observateur ne peut pas voir les modules solaires	
Un éblouissement n'est manifestement pas possible	
L'installation solaire est à l'ombre au moment de l'éblouissement potentiel	
La réflexion des rayons du soleil sur les modules solaires ne peut pas du tout atteindre le point d'observation pour des raisons géométriques	
Les réflexions atteignent uniquement des façades de maisons sans fenêtre, des cages d'escalier, des voies de circulation dans le jardin et d'autres endroits qui ne sont occupés que temporairement	

Si l'installation répond négativement à ces critères, les modules solaires sont alors visibles et présentent un risque potentiel d'éblouissement. Une étude plus poussée doit être entreprise selon les critères présentés en annexe.

Si la gêne potentielle liée à l'éblouissement persiste malgré l'application des prédispositions alors différentes mesures de réduction peuvent être envisagées selon les recommandations de l'OFEV (2021) :

1. Renoncement à la construction de l'installation
2. Construction de l'installation à un autre endroit ou déplacement de celle-ci
3. Réduction de la taille de l'installation
4. Modification de l'orientation de l'installation et/ou de son angle d'élévation
5. Choix de matériaux appropriés (réduction de la durée d'éblouissement par des surfaces lisses ou réduction de l'intensité par des surfaces structurées ; éventuellement ajouter un revêtement)
6. Couverture temporaire de la surface réfléchissante (p. ex. des stores extérieurs sur les façades de verre)
7. Ombrage de la surface de réflexion / éviter les angles d'incidence problématiques par des tôles d'ombrage (possible uniquement pour les angles d'incidence très plats)
8. Aménagement d'un écran entre la surface réfléchissante et le lieu d'immissions, par exemple parois de protection, plantations denses, tôles de protection visuelle, etc.

## Recommandations propres au solaire alpin

La législation suisse actuelle est principalement axée sur le solaire urbain en toiture. Les installations solaires en milieu alpin se démarquent du solaire en toiture, sur les points suivants :

- Elles se situent hors zone à bâtir
- La surface de l'installation est nettement plus conséquente (> 10 ha , >100 ha pour les plus grands projets)
- Elles possèdent un nombre de panneaux solaire important (> 10'000 panneaux > 100'000 panneaux pour les plus grands projets)

Ces caractéristiques limitent l'applicabilité de l'approche d'évaluation actuellement mise en place pour le solaire en toiture. Le caractère novateur et l'ampleur des projets solaires en milieu alpin justifie la mise en œuvre d'une évaluation sérieuse de la problématique.

En l'état, aucune directive d'application spécifique n'a été identifiée pour les grands projets solaires en milieu alpin. Cependant, Swissolar est en train d'élaborer un document "best practice" sur ce sujet. Étant donné la spécificité liée aux projets de solaire alpin, sur la base des pratiques et outils identifiés, il est recommandé d'utiliser l'approche suivante pour évaluer le potentiel de gêne lumineuse lié au solaire alpin :

1. Effectuer une analyse d'intervisibilité du site d'implantation des panneaux, par évaluation in situ ou cartographique, basée sur un modèle numérique de terrain.
2. Identifier les zones sensibles situées dans le champ de visibilité de l'installation, telles que les zones bâties, les lieux touristiques et les secteurs protégés paysagers et naturels. L'appui de personnes ayant une bonne connaissance du lieu (mandataire local, Commune, etc) est vivement souhaitable.
3. Évaluer sommairement le potentiel d'éblouissement vis-à-vis des lieux sensibles, à l'aide de l'outil BLENDTOOL développé par le canton de Berne (<https://blendtool.ch>).
4. Apprécier les résultats de l'évaluation du potentiel d'éblouissement par rapport aux critères indicatifs (présentés en annexe).
5. Effectuer une analyse de sensibilité du projet ; réduction potentielle de l'effet d'éblouissement en optimisant l'orientation des panneaux (azimut et inclinaison).
6. En cas de configuration géométrique sensible, notamment présence d'infrastructures particulières (aérodromes, route à grand trafic notamment), mandater une entreprise externe pour réaliser une étude de détail (par exemple, Solais France ou Basler & Hoffman Suisse).

## Réflectance

L'intensité de la réflexion du rayon solaire est fonction de l'angle d'incidence et de la nature de la surface de réflexion. La réflectance quantifie ce phénomène et est définie comme le pourcentage de lumière incidente réfléchi par la surface d'un matériau. Les panneaux solaires actuels sont caractérisés par une faible réflectance, de l'ordre de 5 à 10%. Des traitements spécifiques du matériau en surface permettent de réduire cette réflectance sous les niveaux actuels conventionnels, toutefois avec des contreparties en termes d'efficacité énergétique, de durabilité (notamment encrassement de surface pour les finitions texturées) et de coût.

Le première partie du webinar Swissolar présente en détail les enjeux liés à ces effets d'éblouissement - [Swissolar Webinar: Blendungen bei PV-Anlagen - YouTube](#)

Lausanne, le 09.05.2023. Leila Hottinger (UNIGe) & Cassien Vietti-Violi (Alpiq)

## Références

Loi fédérale du 07 octobre 1983 sur la protection de l'environnement (LPE) (Etat le 1er janvier 2024), RS 814.01.

Loi fédérale du 22 juin 1979 sur l'aménagement du territoire (LAT), RS 700.

Ordonnance sur l'aménagement du territoire (OAT) du 28 juin 2000 (Etat le 1er juillet 2022) RS 700.1.

OFEV (éd.) 2021 : Recommandations pour la prévention des émissions lumineuses. 1re édition révisée 2021. Première édition 2005. Office fédéral de l'environnement, Berne. L'environnement pratique n° 2117 : 174 p.

Stickelberger, D. & Moll, C. (2021). Guide relatif à la procédure d'annonce et d'autorisation pour les installations solaires - suisse énergie  
<https://pubdb.bfe.admin.ch/fr/publication/download/10403>

Swissolar (2021). Évaluer correctement les situations de réflexion lumineuse. Présentation de Heiniger, L. P.

[Swissolar Webinar: Blendungen bei PV-Anlagen - YouTube](#)

## Annexes

1

### **LAT - Art. 18a Installations solaires**

<sup>1</sup> 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.

<sup>2</sup> 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.

<sup>3</sup> 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.

<sup>4</sup> 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.

2

### **OAT - Art. 32c Installations solaires imposées par leur destination hors de la zone à bâtir**

<sup>1</sup> 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;
- b. sont mises en place de façon flottante sur un lac de barrage ou un autre plan d'eau artificiel, ou
- c. ont, dans une partie du territoire peu sensible, des conséquences positives pour la production agricole ou sont utiles à des fins de recherche et d'expérimentation.

<sup>2</sup> Si l'installation requiert une planification, le projet doit se fonder sur une base correspondante.

<sup>3</sup> Une pesée des intérêts complète est effectuée dans tous les cas.

<sup>4</sup> Les installations et les parties d'installation qui ne satisfont plus aux conditions d'autorisation sont démontées.

**LPE - Titre 2 Limitation des nuisances****Chapitre 1 Pollutions atmosphériques, bruit, vibrations et rayons****Section 1 Émissions****Art. 11 Principe**

<sup>1</sup> Les pollutions atmosphériques, le bruit, les vibrations et les rayons sont limités par des mesures prises à la source (limitation des émissions).

<sup>2</sup> Indépendamment des nuisances existantes, il importe, à titre préventif, de limiter les émissions dans la mesure que permettent l'état de la technique et les conditions d'exploitation et pour autant que cela soit économiquement supportable.

<sup>3</sup> Les émissions seront limitées plus sévèrement s'il appert ou s'il y a lieu de présumer que les atteintes, eu égard à la charge actuelle de l'environnement, seront nuisibles ou incommodes.

**Art. 12 Limitations d'émissions**

<sup>1</sup> Les émissions sont limitées par l'application:

- a. des valeurs limites d'émissions;
- b. des prescriptions en matière de construction ou d'équipement;
- c. des prescriptions en matière de trafic ou d'exploitation;
- d. des prescriptions sur l'isolation thermique des immeubles;
- e. des prescriptions sur les combustibles et carburants.

<sup>2</sup> Les limitations figurent dans des ordonnances ou, pour les cas que celles-ci n'ont pas visés, dans des décisions fondées directement sur la présente loi.

**Section 2 Immissions****Art. 13 Valeurs limites d'immissions**

<sup>1</sup> Le Conseil fédéral édicte par voie d'ordonnance des valeurs limites d'immissions applicables à l'évaluation des atteintes nuisibles ou incommodes.

<sup>2</sup> Ce faisant, il tient compte également de l'effet des immissions sur des catégories de personnes particulièrement sensibles, telles que les enfants, les malades, les personnes âgées et les femmes enceintes.



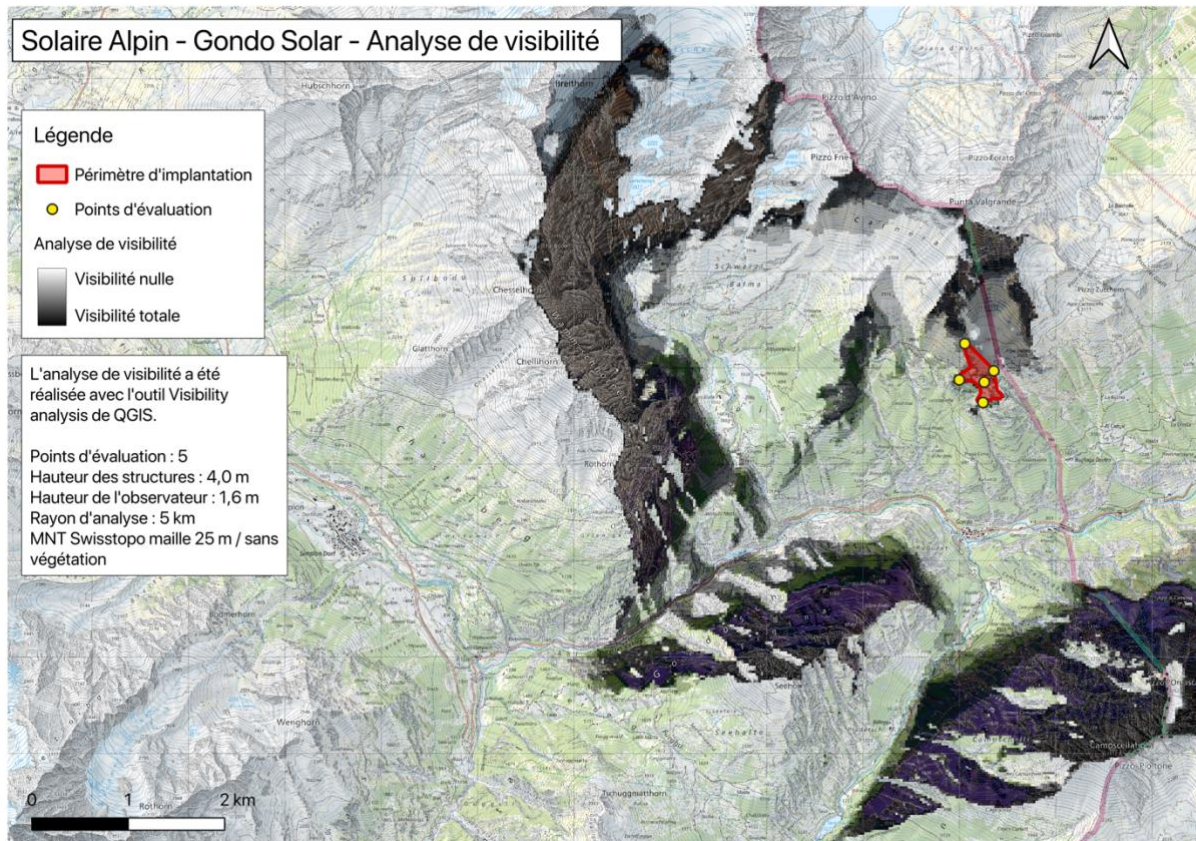
Tableau 7 : Matrice d'évaluation de l'effet d'éblouissement. ZH = Zone d'habitation, ZA = zone artisanale (basé sur les recommandations de Stickelberger & Moll, 2021 et Swissolar, 2021).

<b>PV Alpin - Evaluation initiale du site pour les effets d'éblouissement</b>		
Les modules solaires sont visibles et présentent un risque d'éblouissement, alors les éléments suivants doivent être considérés		
Paramètre	Valeur indicative recommandée	Remarque
Taille de l'installation	<10m <sup>2</sup> (ZH) ; <100m <sup>2</sup> (ZA)	Pour une installation de petite taille, la durée et l'intensité d'éblouissement seront moindres.
Distance max. installation-observateur	100 m (ZH) ; 50 m (ZA)	Les installations de taille habituelle situées au-delà de cette distance ne sont pas significatives pour l'évaluation de l'éblouissement.
Dimension max. de l'installation / rapport distance installation- observateur (angle solide du point de vue de l'observateur)	1/8	1/10 correspond à env. 20 min d'éblouissement max. 1/4 correspond à env. 60 min d'éblouissement max. Les installations présentant un angle solide inférieur du point de vue de l'observateur ne sont pas significatives en termes d'éblouissement.
L'angle de visibilité max. de l'installation du point de vue du spectateur	7,5°	Si l'angle de vision ne dépasse pas cette limite, alors le risque d'éblouissement critique est moindre.
Calcul des heures et durées d'éblouissement théorique sous un ciel dégagé en fonction de la position du soleil au cours de l'année		
Durée d'éblouissement max. par événement pendant un nombre illimité de jours dans l'année	30 min	Est en partie déjà appliqué aujourd'hui. Ne donne pas de définition de l'éblouissement (intensité).
Durée d'éblouissement max. par événement pendant 60 jours max. dans l'année	60 min	Ne donne pas de définition de l'éblouissement (intensité).
Durée d'éblouissement max. par événement pendant 20 jours max. dans l'année	120 min	Ne donne pas de définition de l'éblouissement (intensité).
Durée d'éblouissement annuelle	50 heures	Durée cumulée de l'éblouissement par année
Durée d'éblouissement corrigée selon la météo	Valeurs indicatives doublées par ciel dégagé	Calcul couplé avec la météo. Seules les heures d'ensoleillement (DNI > 120 W/m <sup>2</sup> ) sont prises en compte dans le calcul.
Ensoleillement direct normal (DNI)	120 W/m <sup>2</sup>	À partir d'un DNI de 120 W/m <sup>2</sup> , on compte généralement les heures d'ensoleillement (seuil d'ensoleillement selon l'OMM). Lorsque le soleil ne brille pas (alors DNI <120 W/m <sup>2</sup> ), il n'y a pas d'éblouissement possible.
Intensité de la réflexion, densité de puissance	30 W/m <sup>2</sup>	Il est recommandé de ne pas considérer comme un éblouissement les réflexions plus faibles que 3 % de la lumière du soleil directe à midi.
Intensité de la réflexion Luminance	> 50'000 cd/m <sup>2</sup>	Le disque solaire a une luminance de 1'500'000'000 cd/m <sup>2</sup> ou d'env. 15'000'000 cd/m <sup>2</sup> en cas d'élargissement homogène du faisceau de 5°. La luminance ne doit être considérée comme éblouissante qu'à partir du moment où elle dépasse 50'000 cd/m <sup>2</sup> .
Angle delta soleil éblouissement	> 20°	Seuls les éblouissements dont l'azimut et l'élévation s'écartent de la lumière du soleil d'au moins cette valeur sont considérés comme des éblouissements (valeurs éventuellement distinctes pour l'élévation et l'azimut)
Angle de contact sur la fenêtre	> 20°	Seules les réflexions dont l'angle s'écarte de la surface de la fenêtre d'une valeur supérieure à cette valeur sont prises en compte (la réflexion doit pénétrer dans la pièce)
Zone		Zone d'habitation, zone artisanale, zone à bâtir
Utilisation		Pièces occupées toute l'année / pièces occupées une brève partie de l'année seulement / pièces non occupées

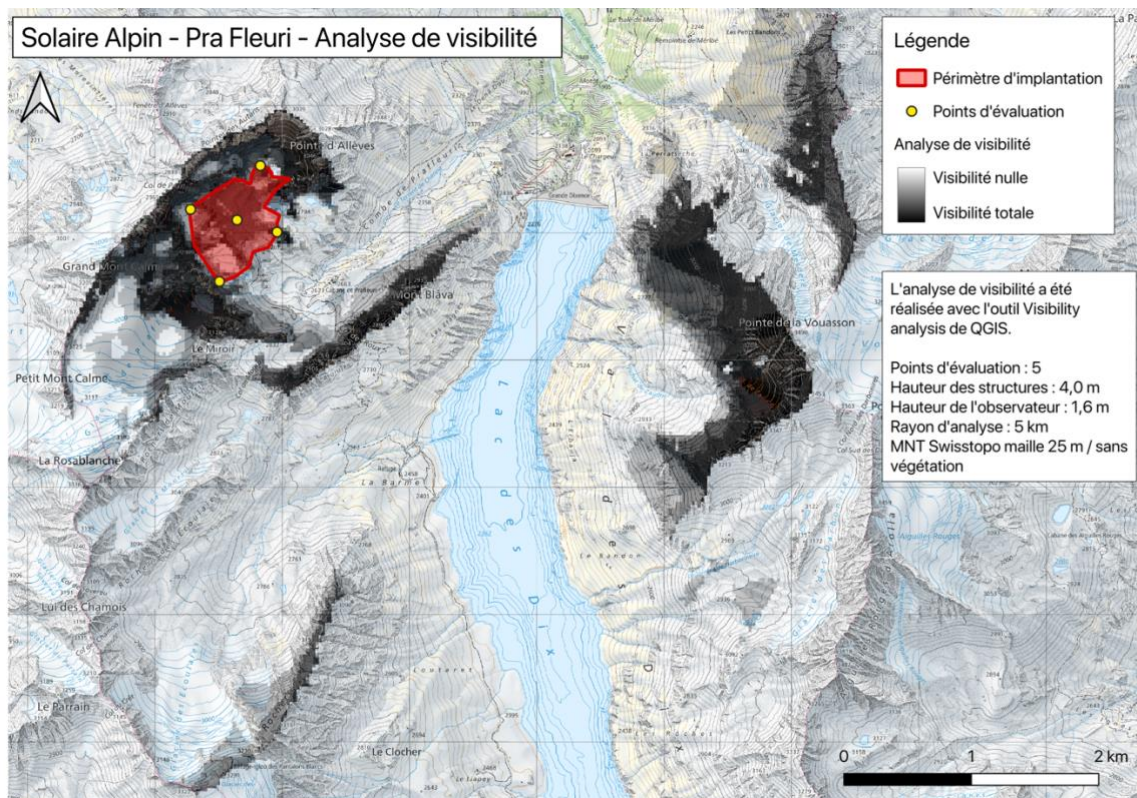
Tableau 8 : Indications concernant la documentation relative aux surfaces réfléchissantes et aux alentours pour faire des prévisions sur un éventuel éblouissement (OFEV, 2021).

<b>Check liste de l'évaluation des effets d'éblouissement</b>			
<b>Investigation</b>	<b>Documentation</b>	<b>Contenu</b>	<b>✓ / ✗</b>
1. Evaluation grossière	Situation	Représentation cartographique de la situation, photo aérienne du terrain	
	Surface réfléchissante	Type (façade de verre, module photovoltaïque, etc.), fabricant	
		Situation Taille Orientation	
Lieux d'immissions	Type et situation des lieux d'immission (p. ex. locaux d'habitation, balcon, terrasse de jardin)		
2. Evaluation élargie	Surface réfléchissante	Coordonnées et altitude du point central de l'installation	
		Coordonnées et altitude des quatre angles de l'installation	
		Orientation de la surface réfléchissante : azimut en degrés (où N : 0°, E : 90°, S : 180°, O : 270°)	
		Inclinaison de la surface réfléchissante : élévation en degré (plat = 0°, vertical = 90°)	
	Indications au sujet du comportement de la surface réfléchissante s'agissant de la réflexion (p. ex. avec revêtement anti-reflet, texturé, élargissant le faisceau lumineux)		
	Lieux d'immissions	Coordonnées et altitude des lieux et points d'immission pertinents	
	Situation	Horizon par rapport à la surface réfléchissante (p. ex. interruption par une montagne, des constructions)	
Calculs simples	Diagramme de position du soleil à l'endroit de la surface réfléchissante		
	Diagrammes de réflexion des surfaces réfléchissantes pour chaque lieu d'immissions		
3. Evaluation détaillée	comportement en matière de réflexion - élargissement du faisceau	Coefficient de réflexion pour les différents angles d'incidence et d'observation	
		Alternativement, images de luminance ou photos de la surface réfléchissante au moment de l'éblouissement afin de déterminer l'élargissement du faisceau	
	Conditions climatiques	Correction météorologique résolue dans le temps pour les plages durant lesquelles l'éblouissement peut effectivement se produire	
Calcul détaillé de la répartition de l'intensité lumineuse au lieu d'immissions	Intensité de la lumière solaire réfléchie (luminance en candelas par mètre carré [cd/m <sup>2</sup> ]) et durée de l'impact, pour chaque lieu d'immissions		

## D. Analyses de visibilité

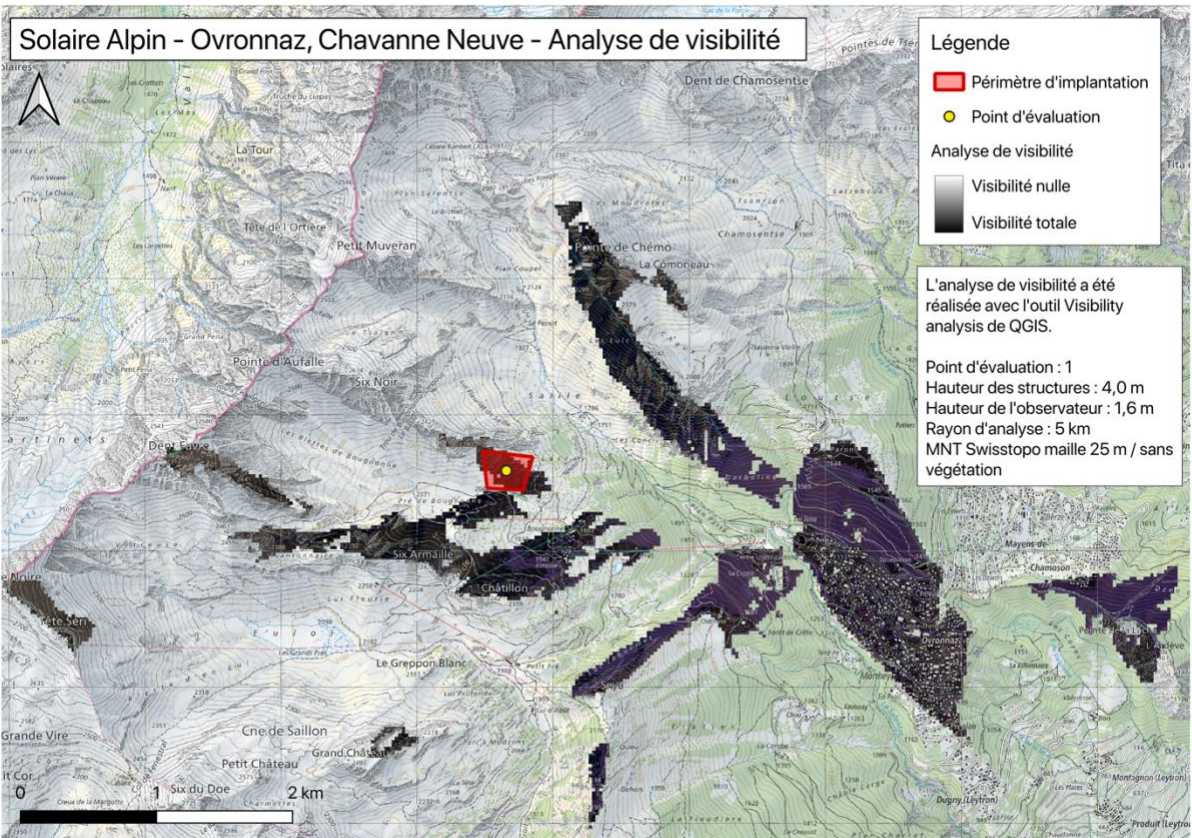
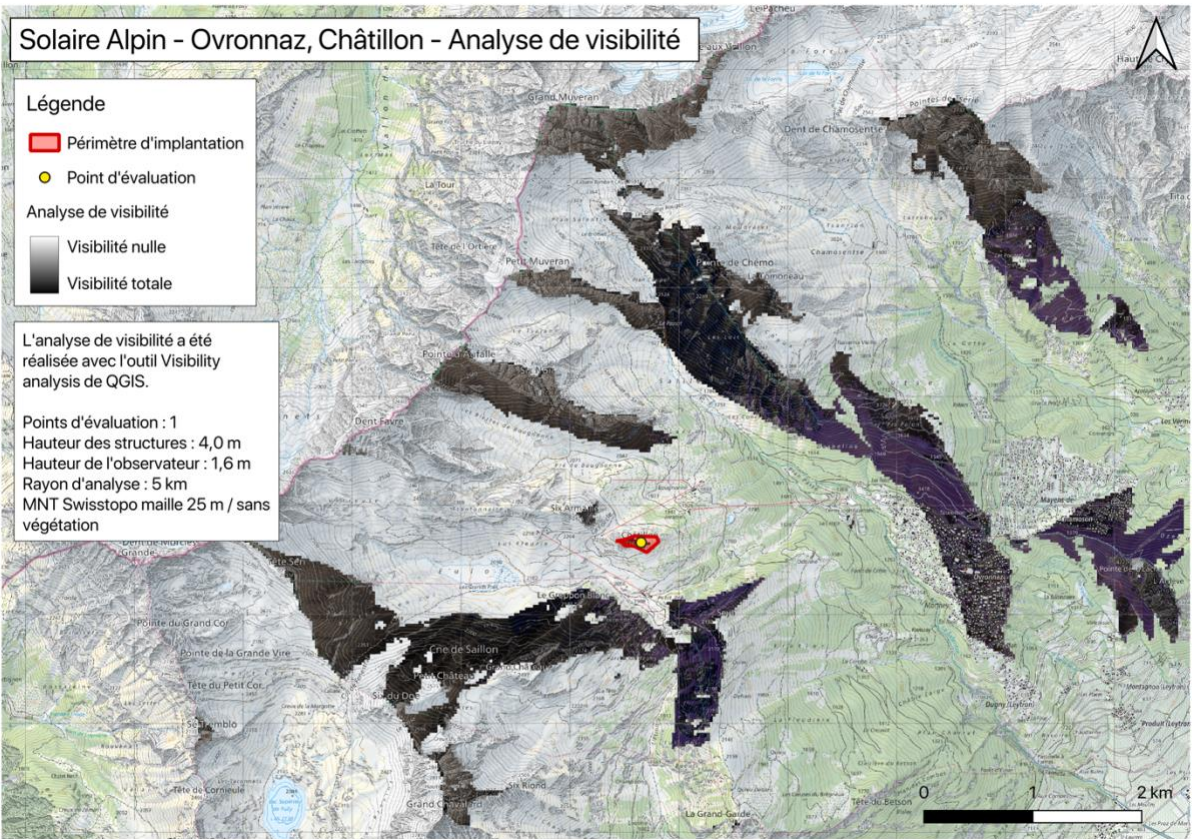


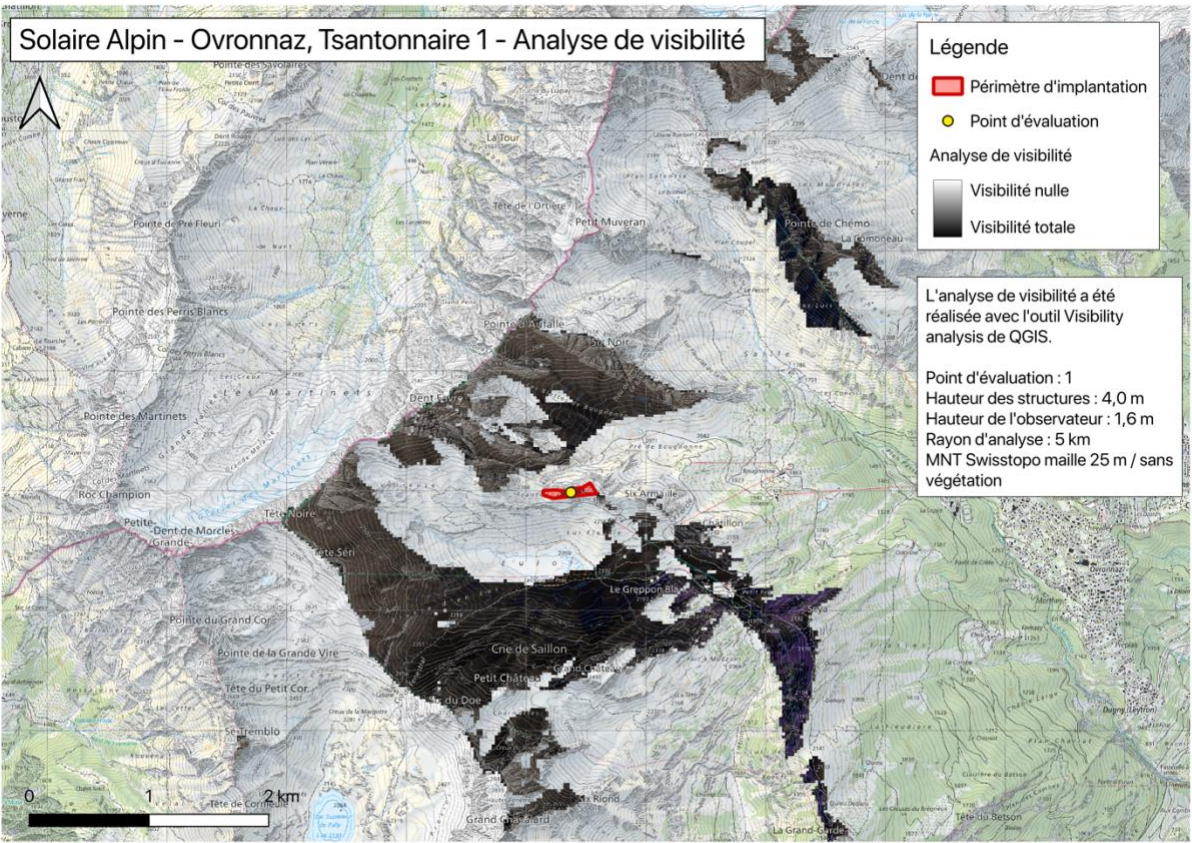
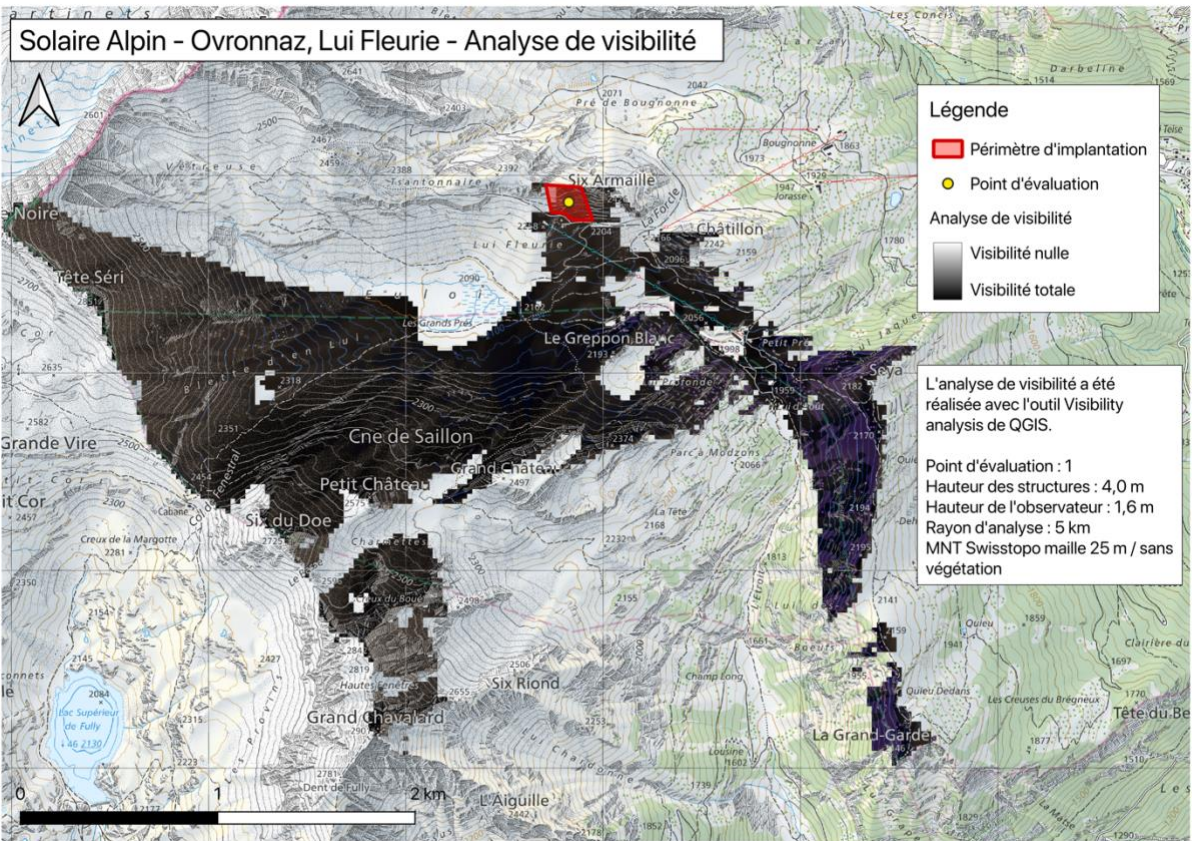
Le site de Gondo Solar est visible depuis une zone étendue. Cependant, lors du croisement de l'analyse de la visibilité avec les couches SIG de l'aménagement du territoire et de protection de l'environnement, très peu d'éléments sensibles sont exposés aux potentiels effets d'éblouissement. Il n'y a pas de zones construites ni de grandes infrastructures de loisirs. Seuls quelques chemins pédestres sont partiellement exposés au champ solaire. Ils doivent être pris en compte lors de l'installation de l'infrastructure, cependant, ces éléments ne posent pas de problèmes majeurs car les utilisateurs ne séjournent pas dans ces zones. Gondo Solar présente à priori une situation peu problématique en termes de nuisances lumineuse.

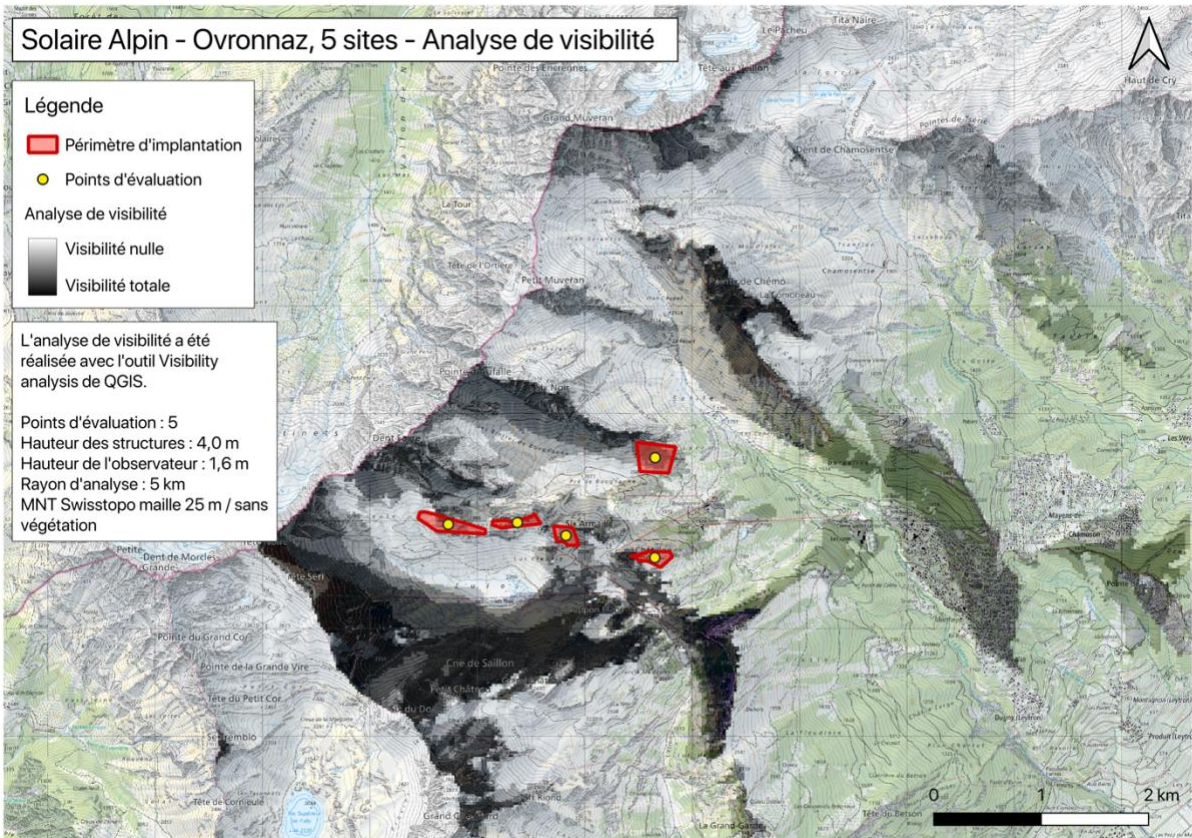
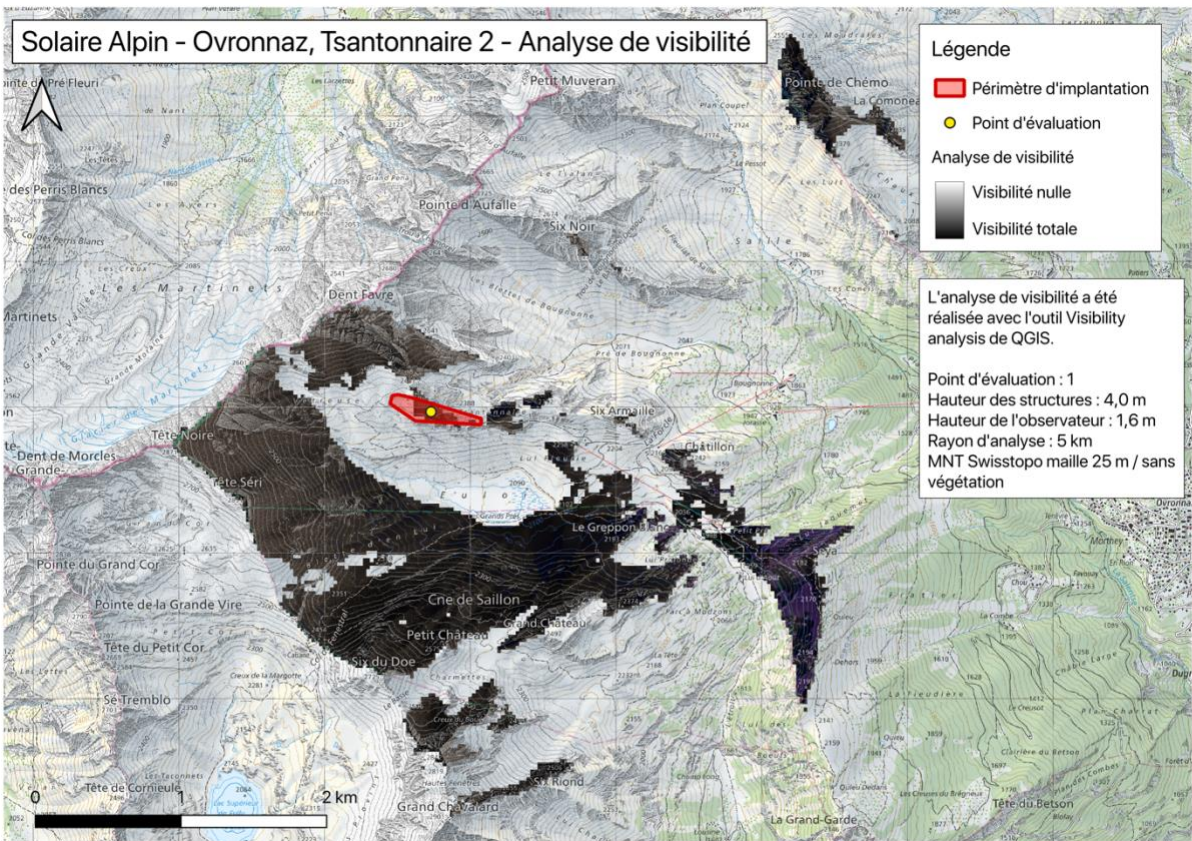


Le site de Pra Fleuri se situe hors du champ de vision de toutes zones bâtie et infrastructures humaines, il y a ainsi peu de risque d'éblouissement de longue durée de ce côté-là. Néanmoins, il est situé en pleine zone de protection de la faune qui pourrait également être impacté par les nuisances lumineuses.

L'analyse de visibilité d'Ovronnaz s'est déroulée un peu différemment car il y a cinq sous-sites à l'étude. Dans un premier temps, ils ont chacun fait l'objet d'une analyse de visibilité séparée avec un point d'évaluation puis une analyse générale regroupant les cinq sites, à nouveau avec cinq points d'évaluation, a été faite.







Les sites de Châtillon et de Chavanne Neuve sont confrontés à des enjeux significatifs en termes d'éblouissement car ils sont dans le champ de vision d'une partie du village d'Ovronnaz. L'analyse de visibilité de l'ensemble des sites est donc préoccupante, car de nombreux bâtiments et infrastructures de loisir ont un visuel direct sur le champ de panneaux solaires. Néanmoins, selon l'orientation et l'angle d'inclinaison des panneaux, il est possible qu'aucun rayon réfléchis n'atteigne les zones sensibles et cela relève d'une analyse de site complémentaire.



## E. Matrice multicritère

Catégorie	Objet	Niveau fédéral / cantonal	Description des données	Incidence potentielle sur le projet	Enjeux	Source donnée (webservice / shape local)	Visualisation de la couche de données	Intégration QGIS
Faune et Flore	Inventaire fédéral des bas-marais d'importance nationale (OFEV)	Fédéral	Les bas-marais abritent une biocénose troitement liés les uns aux autres et parmi lesquels on trouve un grand nombre d'espèces menacées, le Conseil fédéral désigne les biotopes d'importance nationale	Echelle juridiquement contraignante pour les 1333 objets à protéger	La mise en place est exclue	WMS webservice	<a href="https://map.geo.admin.ch">https://map.geo.admin.ch</a>	✓
	Inventaire fédéral des hauts-marais et marais de transition d'importance nationale (OFEV)	Fédéral	Biotopes d'importance nationale	L'échelle juridiquement contraignante pour déterminer la situation de l'objet à protéger est celle de la feuille d'objet	La mise en place est exclue	WMS webservice	<a href="https://map.geo.admin.ch">https://map.geo.admin.ch</a>	✓
	Inventaire fédéral des zones alluviales	Fédéral	Zones inondables en bordure de lacs et cours d'eaux, ces zones constituant des biotopes naturels d'importance nationale	Echelle juridiquement contraignante. Les limites précises des objets sont fixées par les cantons.	La mise en place est exclue	WMS webservice	<a href="https://map.geo.admin.ch">https://map.geo.admin.ch</a>	✓
	Inventaire fédéral des prairies et pâturages secs d'importance nationale (OFEV)	Planification cantonal / données accessible fédéral	Vue d'ensemble nationale des milieux naturels des prairies sèches qui permette de fixer des priorités pour la conservation et le suivi	Echelle juridiquement contraignante, les limites précises des objets sont fixées par les cantons.	La mise en place est exclue	WMS webservice	<a href="https://map.geo.admin.ch">https://map.geo.admin.ch</a>	✓
	Inventaire fédéral des sites de reproduction de batraciens d'importance nationale (OBAT)	Fédéral	L'inventaire comprend : plans d'eau, petites mares, complexes marécageux de grande taille, gravières et des glaisières	Echelle juridiquement contraignante. Les limites précises des objets sont fixées par les cantons.	La mise en place est exclue	WMS webservice	<a href="https://map.geo.admin.ch">https://map.geo.admin.ch</a>	✓
	Zones humides et Ramsar	Fédéral	La Suisse s'est engagée à garantir l'exploitation durable des zones humides et à leur accorder une protection spéciale, les sites Ramsar sont inclus dans les périmètres existants des inventaires fédéraux des biotopes d'importance nationale	Zones protégées	La mise en place est exclue	WMS webservice	<a href="https://map.geo.admin.ch">https://map.geo.admin.ch</a>	✓
	Sites marécageux	Planification cantonal / données accessible fédéral	Présence de marais et abritant également d'autres éléments culturels et naturels remarquables	Limite les possibilités de constructions, échelle juridiquement contraignante. Les limites précises des objets sont fixées par les cantons.	La mise en place est exclue	WMS webservice	<a href="https://map.geo.admin.ch">https://map.geo.admin.ch</a>	✓
	Parcs Suisses (zone)	Fédéral	Les parcs nationaux favorisent la protection et la valorisation des milieux naturels exceptionnels, trois catégories de parcs nationaux: les parcs nationaux, les parcs naturels régionaux et les parcs naturels périurbains	Aires protégées par la loi sur la protection de la nature et du paysage	La mise en place est exclue	WMS webservice	<a href="https://map.geo.admin.ch">https://map.geo.admin.ch</a>	✓
	Site de protection de la faune (OFEV), Districts francs	Fédéral	Protection et conservation de certaines espèces ainsi que de leurs biotopes : 42 zones certaines dites contraignantes et d'autres recommandées	Contraignante = restriction d'accès	Restrictions fortes	WMS webservice	<a href="https://map.geo.admin.ch">https://map.geo.admin.ch</a>	✓
	Corridor faunistique suprarégional	Fédéral	Recensement des corridors faunistiques par canton et idées corridors potentiels : intérêt suprarégional, intérêt régional, intérêt local	Contrainte pour constructions	Restrictions fortes	WMS webservice	<a href="https://map.geo.admin.ch">https://map.geo.admin.ch</a>	✓
	Pro natura : réserves naturelles	Fédéral	Pro Natura protège plus de 770 réserves naturelles, qui couvrent en Suisse une surface totale de près de 270 km2	Restrictions de construire	Restrictions fortes	WMS webservice	<a href="https://map.geo.admin.ch">https://map.geo.admin.ch</a>	✓
	Zone de tranquillité pour la faune sauvage	Cantonal	Catégorie contraignante délimitées par le biais d'un processus législatif ou recommandée	Seul les routes et chemins inscrits sur la carte peuvent être emprunté	Restrictions fortes	WMS webservice	<a href="https://www.geodienste.ch/services/wildruhezonen?locale=fr">https://www.geodienste.ch/services/wildruhezonen?locale=fr</a>	✓
	Zones de protection de la nature cantonales (plan d'affectation) - Sites protégés par décisions cantonales	Cantonal	Cartographie des sites protégés par décisions cantonales	Contrainte pour constructions	Restrictions fortes	Shape local sur demande	<a href="https://www.geocat.ch/geonetw/ork/srv/fre/catalog.search#/metadata/0aa35e0f-c661-4d35-9aee-">https://www.geocat.ch/geonetw/ork/srv/fre/catalog.search#/metadata/0aa35e0f-c661-4d35-9aee-</a>	×
	Districts francs cantonaux	Cantonal			Restrictions fortes			×
	Réserves forestières	Planification cantonal / données accessible fédéral	Les réserves forestières sont des surfaces protégées durablement et vouées à la diversité écologique et biologique en forêt	Restrictions de construire	Restrictions fortes	WMS webservice	<a href="https://map.geo.admin.ch">https://map.geo.admin.ch</a>	✓
Etages de végétation 2085 sec	Fédéral	Etages de végétation forestière en Suisse pour la période 2070-2099 dans l'hypothèse d'un futur climat sec	Dans quelles conditions environnemental se trouvera le projet sera à l'avenir	A considérer	WMS webservice	<a href="https://map.geo.admin.ch">https://map.geo.admin.ch</a>	✓	
Limites supérieur de la forêt	Fédéral	Limite supérieure naturelle de la forêt actuelles et prédictions futures	Limite les possibilités de constructions	A considérer	WMS webservice	<a href="https://map.geo.admin.ch">https://map.geo.admin.ch</a>	✓	
Carte des milieux naturels	Fédéral	Les habitats suisses à l'échelle de la région : classe 1. plans d'eau, 3. glaciers, rochers, débris et éboulis, 9. bâtiments		A considérer	WMS webservice	<a href="https://map.geo.admin.ch">https://map.geo.admin.ch</a>	✓	
Relevés webfauna / infloflora	Fédéral 5X5 km	Données pas accessible librement	Restriction de construire si présence d'espèces à protéger	A considérer	CSV à télécharger	<a href="https://www.infloflora.ch/fr/donnees/listes-a-telecharger.html">https://www.infloflora.ch/fr/donnees/listes-a-telecharger.html</a>	×	
Paysage	Inventaire fédéral des paysages, sites et monuments naturels (IFP)	Fédéral	Inventaires d'objets de signification nationale	Restriction de construire	Restrictions fortes	WMS webservice	<a href="https://map.geo.admin.ch">https://map.geo.admin.ch</a>	✓
	Zones de protection du paysage cantonales (plan d'affectation)	Cantonal	Le plan d'affectation Valaisan pas disponible, Vaud - Berne ok		Restrictions fortes	WMS webservice	<a href="https://www.geodienste.ch/services/npl_nutzungsplanung">https://www.geodienste.ch/services/npl_nutzungsplanung</a>	×
	Plan d'affectation de zone	Cantonal	Affectations primaires, zones et périmètres superposés communaux. Sont indiqués (point) les modifications partielles, homologations complémentaires et plans spéciaux		A considérer	WMS webservice	<a href="https://opendata.swiss/fr/dataset/zonennutzungsplan">https://opendata.swiss/fr/dataset/zonennutzungsplan</a>	✓
Patrimoine	Inventaire des voies historiques de Suisse - régionales et locales (IVS)	Fédéral	Tracé, leur histoire, leur état et leur importance, conformément aux dispositions de la loi fédérale sur la protection de la nature et du paysage (LPN)		Restrictions fortes	WMS webservice	<a href="https://map.geo.admin.ch">https://map.geo.admin.ch</a>	✓
	Inventaire des sites construits d'importance nationale à protéger ISOS	Fédéral	Recense les sites construits les plus précieux et les plus importants du pays et les documente	Restriction de construire	Restrictions fortes	WMS webservice	<a href="https://map.geo.admin.ch">https://map.geo.admin.ch</a>	✓
	Monuments historiques et patrimoine bâti	Cantonal	Veiller à la préservation, à la conservation et à la documentation des objets du patrimoine bâti historique, en favorisant les objets les plus menacés et ceux présentant le plus d'intérêt.		Restrictions fortes		<a href="https://www.vs.ch/fr/web/sip/monuments">https://www.vs.ch/fr/web/sip/monuments</a>	×

Eaux souterraines	Carte de protection des eaux souterraines	Cantonal	Mesures d'organisation du territoire relatives aux eaux, périmètre de protection des eaux souterraines, zone et secteur de protection	Les zones S : restrictions d'utilisation du sol et justifient la mise en conformité des installations à risque	Restrictions fortes	WMS webservice	<a href="https://www.geodienste.ch/downloads/planerischer_gewaesserschutz">https://www.geodienste.ch/downloads/planerischer_gewaesserschutz</a>	✓
	Sources Public (couche eaux souterraines SPE)	Cantonal	Comprennent les sources et puits captés ou non captés, les galeries de captage et les prises d'eau qui sont d'intérêt public ou privé par l'alimentation en eau potable, mais également les installations d'alimentation artificielle d'aquifères		Restrictions fortes		<a href="https://www.arcgis.com/home/item.html?id=f4f0d72076864cf497b35fbfc75d8d4b">https://www.arcgis.com/home/item.html?id=f4f0d72076864cf497b35fbfc75d8d4b</a>	✗
Eaux de surface	Espace réservé aux eaux ERE	Cantonal	Espace minimal autour des eaux de surface selon la loi révisée sur la protection des eaux	Zones protégées	Restrictions fortes	Shape local	<a href="https://open-data-sitvalais.hub.arcgis.com/datasets/sitvalais::ere-espace-reserve-">https://open-data-sitvalais.hub.arcgis.com/datasets/sitvalais::ere-espace-reserve-</a>	✓
	Réseau hydrographique	Fédéral	Comprend les cours d'eau et les contours de lac de la Suisse		A considérer	WMS webservice	<a href="https://map.geo.admin.ch">https://map.geo.admin.ch</a>	✓
Loisirs	Itinéraire à ski	Fédéral	Randonnées en raquettes et à ski et remontées mécaniques	Itinéraire à maintenir, garantir un droit de passage	A considérer	WMS webservice	<a href="https://map.geo.admin.ch">https://map.geo.admin.ch</a>	✓
	Cabanes de montagne	Cantonal	Elles sont recensées dans la couche itinéraire à ski		A considérer		<a href="https://services1.arcgis.com/rMls">https://services1.arcgis.com/rMls</a>	✗
	Chemins de randonnée pédestre	Fédéral	Réseau des chemins pédestres officiel de la Suisse	Itinéraire à maintenir, garantir un droit de passage	A considérer	WMS webservice	<a href="https://map.geo.admin.ch">https://map.geo.admin.ch</a>	✓
	La Suisse en VTT	Fédéral	Comprends les itinéraires nationaux, régionaux et locaux pour VTT en Suisse	Itinéraire à maintenir, garantir un droit de passage	A considérer	WMS webservice	<a href="https://map.geo.admin.ch">https://map.geo.admin.ch</a>	✓
Infrastructures	Zones bâties	Fédéral	Etendue des zones bâties	Implémentation des sites dans les environnements entropisés	A considérer	WMS webservice	<a href="https://map.geo.admin.ch">https://map.geo.admin.ch</a>	✓
	Bâtiments	Fédéral	Bâtiments d'habitation		A considérer	WMS webservice	<a href="https://map.geo.admin.ch">https://map.geo.admin.ch</a>	✓
	Domaine skiable : Plan de zone Valais	Cantonal	Extension des domaines skiables --> dans la section Paysage, couche PAZ Valais		A considérer	WMS webservice	<a href="https://opendata.swiss/fr/dataset/zonennutzungsplan">https://opendata.swiss/fr/dataset/zonennutzungsplan</a>	✓
	Transport à câble swissTLM3D	Fédéral	Comprend les remontées mécaniques de la Suisse	Accessibilité du site et passage	A considérer	WMS webservice	<a href="https://map.geo.admin.ch">https://map.geo.admin.ch</a>	✓
	Routes et chemins swissTLM3D	Fédéral	Comprend le réseau des routes et des chemins de la Suisse	Accessibilité du site et passage	A considérer	WMS webservice	<a href="https://map.geo.admin.ch">https://map.geo.admin.ch</a>	✓
Dangers naturels	Carte des dangers	Cantonal	Indiquent où les zones en Suisse sont menacées par des crues, des glissements de terrain, des processus de chute et des avalanches. Elles renseignent également sur l'intensité et sur la probabilité que l'événement se produise.	Les dangers naturels peuvent porter atteinte aux installations PV, il faut veiller à ne pas construire dans les zones trop vulnérables.	Restrictions fortes	WMS webservice	<a href="https://www.geodienste.ch/services/verkehrskarten">https://www.geodienste.ch/services/verkehrskarten</a>	✓
	Carte de l'aléa ruissellement	Fédéral	Zones potentiellement touchées par des événements rares à très rares, vue d'ensemble grossière des dangers liés au ruissellement, temps de retour de min 100 ans	Identifications des bassières de d'éventuels gouffres karstiques	A considérer	WMS webservice	<a href="https://map.geo.admin.ch">https://map.geo.admin.ch</a>	✓
	Carte des dangers de grêles entre 10 et 100 ans	Fédéral	Montrent les valeurs de retour de la taille des grêlons statistiquement estimées pour la période de retour de 10/50/100 ans	Peut endommager les panneaux	A considérer	WMS webservice	<a href="https://map.geo.admin.ch">https://map.geo.admin.ch</a>	✓
	Tempêtes : pression dynamique 50	Fédéral	Pointes des rafales ainsi que leurs pressions dynamiques, calculé sur la base de 83 périodes de tempêtes hivernales	Peut endommager les panneaux	A considérer	WMS webservice	<a href="https://map.geo.admin.ch">https://map.geo.admin.ch</a>	✓
Sols et sous-sol	GeoCover - données géologiques vectorielles	Fédéral	Se basent sur les cartes existantes de l'Atlas géologique de la Suisse 1:25'000		A considérer	WMS webservice	<a href="https://www.geodienste.ch/services/kataster_belasteter_standort">https://www.geodienste.ch/services/kataster_belasteter_standort</a>	✓
	Cadastre des sites pollués	Cantonal	Sites de stockage, d'exploitation et les lieux d'accidents : détails sur la surveillance et l'assainissement	Procédures et conditions à remplir si construction sur site pollué, assainissement souvent nécessaire	Restrictions fortes	WMS webservice	<a href="https://www.geodienste.ch/services/kataster_belasteter_standort">https://www.geodienste.ch/services/kataster_belasteter_standort</a>	✓
	Carte indicative du permafrost / pergélisol	Fédéral	En Suisse, au-dessus de 2400 mètres d'altitude et en fonction de l'orientation géographique, le sol peut être gelé en permanence	Risque de chutes de pierres, éboulements, glissements de terrain et laves torrentielles dans les régions de montagne avec le changement climatique	Restrictions fortes	WMS webservice	<a href="https://map.geo.admin.ch">https://map.geo.admin.ch</a>	✓
	Etendue des glaciers	Fédéral	Evolution de la surface de la glace, le volume, l'accumulation et la fonte de la neige, le débit des glaciers et les températures	Choix du site d'implantation	Restrictions fortes	WMS webservice	<a href="https://map.geo.admin.ch">https://map.geo.admin.ch</a>	✓
	Couverture du sol Swiss TLM3D	Fédéral	Falaise, éboulis, glacier, lac, agglomération et zones habitée, villes, forêts, vergers, vignes, marais, culture...	A considérer lors d'une construction	A considérer	WMS webservice	<a href="https://map.geo.admin.ch">https://map.geo.admin.ch</a>	✓
	Typologie des cultures	Fédéral	Aptitude des sols agricole en fonction de la roche-mère, l'exposition et la pente.		A considérer	WMS webservice	<a href="https://map.geo.admin.ch">https://map.geo.admin.ch</a>	✓
	Surfaces d'assolement (SDA)	Cantonal	Représentent les meilleures terres agricoles du pays et répondent à des critères définis de qualité pédologique et de situation climatique	Contraintes administrative forte, compensation en surface. Peu probable aux altitudes alpines.	Restrictions fortes	WMS webservice	<a href="https://www.geodienste.ch/services/kataster_belasteter_standort">https://www.geodienste.ch/services/kataster_belasteter_standort</a>	✓
	Classes de pentes de plus de 30° (map.geo.admin)	Fédéral	La pente représente la première dérivée d'un modèle altimétrique numérique	Contrainte de faisabilité technique construction dans des pentes excessives impossible	Restrictions fortes	WMS webservice	<a href="https://map.geo.admin.ch">https://map.geo.admin.ch</a>	✓
Energie	Lignes à haute tension	Cantonal	Lignes à hautes tensions de 220 et 380 KV	Pour permettre la distribution de l'énergie produite par les installations PV	A considérer		<a href="https://rs1.comme-vs.ch/construction/lignes_electriques/fr/#?local=fr&amp;layers=World_Hillshade_3689.t.1.VectorTile_6451.t.1.VectorTile_3689.t.1.VectorTile_3689">https://rs1.comme-vs.ch/construction/lignes_electriques/fr/#?local=fr&amp;layers=World_Hillshade_3689.t.1.VectorTile_6451.t.1.VectorTile_3689.t.1.VectorTile_3689</a>	