

**Cythelia Energy**

14 allée du Lac de Tignes – 73290 La Motte Servolex

Tel : +33 (0)4 79 25 31 75 | [www.cythelia.fr](http://www.cythelia.fr)

SAS au capital de 165 000 € - RCS Chambéry B 393 290 937 - APE 7112B



# **Evaluation du risque d'éblouissement par un projet photovoltaïque à proximité de la « Cité des Révériens »**

Cité des Révériens – Garchizy (58600)



Référence : C-03524

Rédaction : LC

Version : V1

Date : 24/10/2025

# Sommaire

<b>Résumé .....</b>	<b>2</b>
<b>1. Méthodologie et hypothèses.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1. Course du soleil et masque lointain.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2. Rayons réfléchis .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3. Topographie.....</b>	<b>5</b>
<b>1.4. Identification des risques d'éblouissement .....</b>	<b>5</b>
<b>1.5. Rayons réfléchis par les modules photovoltaïques.....</b>	<b>6</b>
<b>1.6. Hypothèses de calcul.....</b>	<b>7</b>
<b>2. Objets de l'étude.....</b>	<b>8</b>
<b>2.1. Centrale photovoltaïque .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2. «Cité des Révériens».....</b>	<b>10</b>
<b>3. Analyse du risque d'éblouissement.....</b>	<b>11</b>
<b>3.1. Analyse graphique.....</b>	<b>11</b>
<b>3.1.1. «Cité des Révériens» .....</b>	<b>11</b>
<b>3.2. Calcul détaillé.....</b>	<b>12</b>
<b>3.2.1. Sans obstacle .....</b>	<b>12</b>
<b>3.2.2. Avec écran de 3 m de hauteur.....</b>	<b>15</b>
<b>3.2.3. Avec écran de 4 m de hauteur.....</b>	<b>18</b>
<b>3.2.4. Avec prolongation de l'écran de 4 m de hauteur.....</b>	<b>22</b>
<b>3.2.5. Avec une haie de 4 m de hauteur au Sud.....</b>	<b>26</b>
<b>4. Conclusion.....</b>	<b>27</b>

## Résumé

La société ELEMENTS développe un projet de centrale photovoltaïque sur le territoire de la commune Garchizy (58600). Ce projet se trouve à proximité immédiate de la «Cité des Révériens».

L'objectif de l'étude est de déterminer les positions des modules et les moments pour lesquels un risque d'éblouissement des riverains est possible. L'analyse est réalisée en faisant l'analogie avec les exigences qui existaient pour les aérodromes et héliports et qui sont décrites dans la Note d'Information Technique de la DGAC.

**Le tableau ci-dessous synthétise les résultats de l'analyse :**

*Tableau 1 : Synthèse de l'analyse*

	Risque d'éblouissement	Longueur de façade avec éblouissement	Durée moyenne journalière	Plage horaire (UTC +1)	Source du risque	Angle Soleil-Conducteurs-Modules	Risque atténué (angles < 20°)
Sans obstacle	OUI	466 m	19 min	17 h23 – 18 h55	Centrale	22.2°	NON
Haies du projet	OUI	466 m	19 min	17 h23 – 18 h55	Centrale	22.2°	NON
Haie de 4 m à l'Est	OUI	184 m	14 min	17h33 – 18h53	Soleil + Centrale	19°	OUI
Haie de 4 m à l'Est prolongée	OUI	96 m	12 min	17h48 – 18h38	Soleil + Centrale	13.4°	OUI
Haie de 4 m à l'Est et au Sud	NON	-	-	-	-	-	-

- ✓ L'étude montre un risque d'éblouissement pour la «Cité des Révériens» avec le projet actuel.
- ✓ L'installation d'un écran de 4 m de hauteur (haie) à l'Est permettrait de réduire fortement ce risque.
- ✓ Seul l'implantation d'écrans de 4 m de hauteur à l'Est et au Sud permet de supprimer le risque d'éblouissement.
- ✓ Lors de l'implantation d'écran de 4 m de hauteur, le risque est atténué par le fait qu'aux moments où l'éblouissement est identifié, les riverains sont également éblouis par le soleil.

# 1. Méthodologie et hypothèses

## 1.1. Course du soleil et masque lointain

Grâce aux coordonnées géographiques du site, la course du soleil est calculée, et il est possible de générer le diagramme solaire représenté en Figure 1. Dans ce diagramme, les azimuts ont pour origine le Sud et sont comptés positivement vers l'Ouest et négativement vers l'Est. Ce diagramme est donné pour des jours moyens de chaque mois.

Ainsi, heure par heure, nous connaissons la position du soleil dans le ciel au moyen de deux grandeurs : hauteur angulaire et azimut.

Sur ce même diagramme, le **masque lointain** (constitué par le relief alentour) est représenté. Les données utilisées pour le calcul du masque lointain sont issues des données SRTM diffusées par la NASA, disponibles sur ce site : <http://srtm.csi.cgiar.org/>



Figure 1 : Course du soleil et masque lointain sur le site

## 1.2. Rayons réfléchis

Le vecteur incident, et donc le vecteur réfléchi, sont nuls lorsque le soleil est masqué par le relief alentour (qui constitue le masque lointain qui est visible sur la Figure 1), c'est-à-dire, lorsque la hauteur du soleil est inférieure à la hauteur du masque (pour l'azimut du soleil à un instant donné).

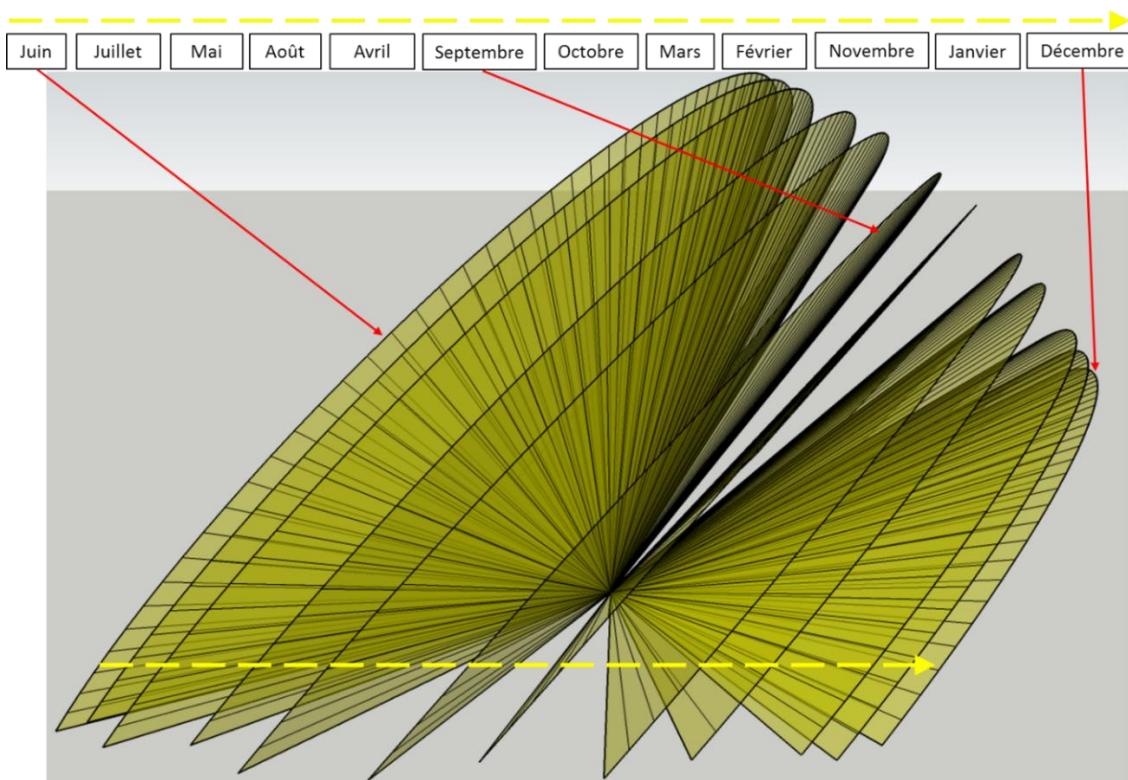
**Aucun rayon n'est donc réfléchi quand le soleil est masqué par le relief.**

Dans un système de coordonnées orthonormé ayant pour origine le centre d'un des modules, il est possible de calculer le vecteur réflexion  $\vec{V}_{réf}$ , à partir du vecteur définissant la position du soleil  $\vec{V}_{inc}$  et du vecteur normal au module  $\vec{n}$  (défini grâce à l'orientation et l'inclinaison du module) au moyen de la relation :

$$\vec{V}_{réf} = \frac{2 \cdot \vec{V}_{inc} \cdot \vec{n}}{\|\vec{n}\|^2} \vec{n} - \vec{V}_{inc}$$

Pour l'analyse graphique, le calcul est réalisé toutes les 10 minutes de l'heure de lever du soleil à son coucher pour les jours moyens de chaque mois<sup>1</sup>, à l'exception des mois de Juin et Décembre, pour lesquels les jours de solstices sont considérés.

En créant, dans une modélisation 3D, une surface entre deux vecteurs réfléchis consécutifs (le parcours du rayon pendant les 10 minutes est ainsi représenté de manière continue), il est possible de visualiser graphiquement des « surfaces » d'éblouissement pour chaque mois, représentées en jaune sur la figure suivante.



**Figure 2 : Surfaces de rayons réfléchis (exemple)**

De même, les jours non représentés graphiquement sont visuellement interpolables, entre deux surfaces qui représentent le parcours des rayons réfléchis pendant les deux jours moyens de deux mois consécutifs. **Ce volume constitué par l'ensemble de ces surfaces contient donc la totalité des rayons réfléchis pour toutes les heures de l'année.**

---

<sup>1</sup> Le jour moyen est défini comme étant le jour pour lequel la déclinaison est la plus proche de la déclinaison moyenne du mois considéré (Duffie & Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, d'après Klein (1977)).

**Un calcul détaillé**, réalisé pour tous les jours de l'année, toutes les minutes de l'heure de lever du soleil à son coucher, complète cette analyse graphique. Pour ce calcul détaillé, le rayon réfléchi à un instant  $t$  est modélisé par un cône dont l'ouverture est de 87,9 mrad. Cette valeur correspond à ce que donne le SANDIA<sup>2</sup> pour un module doté d'un verre non texturé sans couche anti-reflet. C'est une hypothèse conservatrice.

### 1.3. Topographie

La topographie entre la centrale et l'infrastructure étudiée est prise en compte, les rayons réfléchis par les modules sont susceptibles d'être arrêtés par le terrain. Les données d'élévation du terrain sont issues du modèle numérique de terrain (MNT) de l'IGN (Institut Géographique National).

### 1.4. Identification des risques d'éblouissement

Le critère retenu pour identifier le risque d'éblouissement est une interception entre les rayons réfléchis et les façades des bâtiments à proximité de la centrale. Les rayons réfléchis sont représenté sur 180°.

Lorsqu'un risque d'éblouissement est identifié, il peut être relativisé si l'habitant est par ailleurs déjà ébloui directement par le soleil. Ces cas sont caractérisés par l'angle entre les modules, la façade et le soleil, et on considère que le risque est atténué lorsque cet angle est inférieur à 20°. Cette valeur de 20° est également celle retenue par Swissolar (association suisse des professionnels de l'énergie solaire)<sup>3</sup>.

---

<sup>2</sup> Solar Glare Hazard Analysis Tool (SGHAT) Technical Reference Manual, US Department of Energy, Sandia National Laboratories, March 2015

<sup>3</sup> Guide relatif à la procédure d'annonce et d'autorisation, Suisse Energie, Juin 2023. Disponible sur <https://pubdb.bfe.admin.ch/fr/publication/download/10403> (consulté le 24/01/2024)

## 1.5. Rayons réfléchis par les modules photovoltaïques

En calculant les rayons réfléchis par les modules photovoltaïques toutes les 10 minutes pour chaque jour, et en créant une surface entre deux rayons consécutifs (parcours du rayon pendant les 10 minutes), il est possible de visualiser graphiquement des « surfaces » d'éblouissement pour chaque mois.

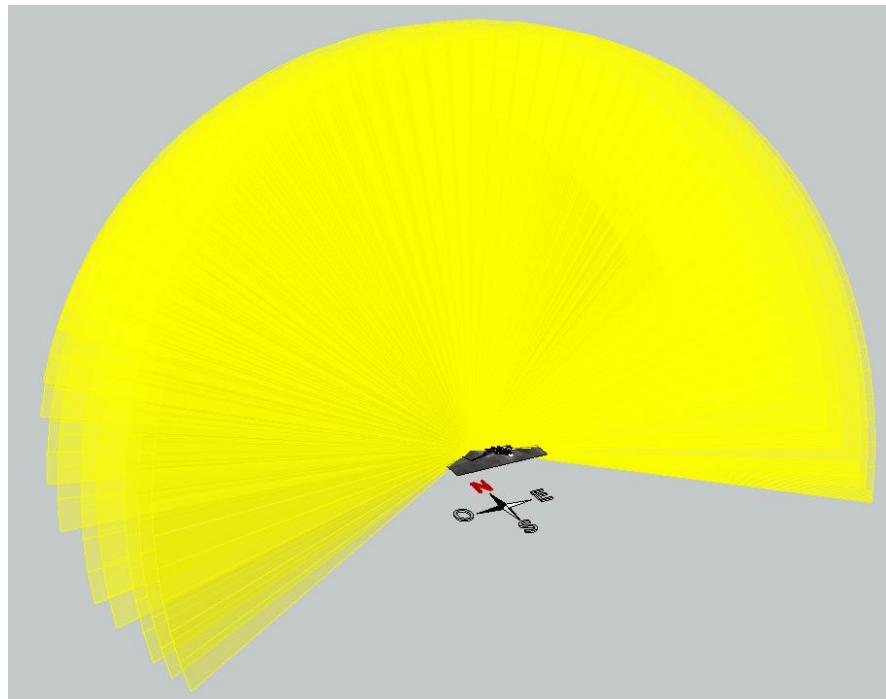


Figure 3 : Représentation 3D des rayons réfléchis sur 12 mois

L'ajout d'un attribut sur les rayons 3D permet de connaître à quels jours et heures de l'année correspondent chacun des segments représentants les rayons réfléchis.

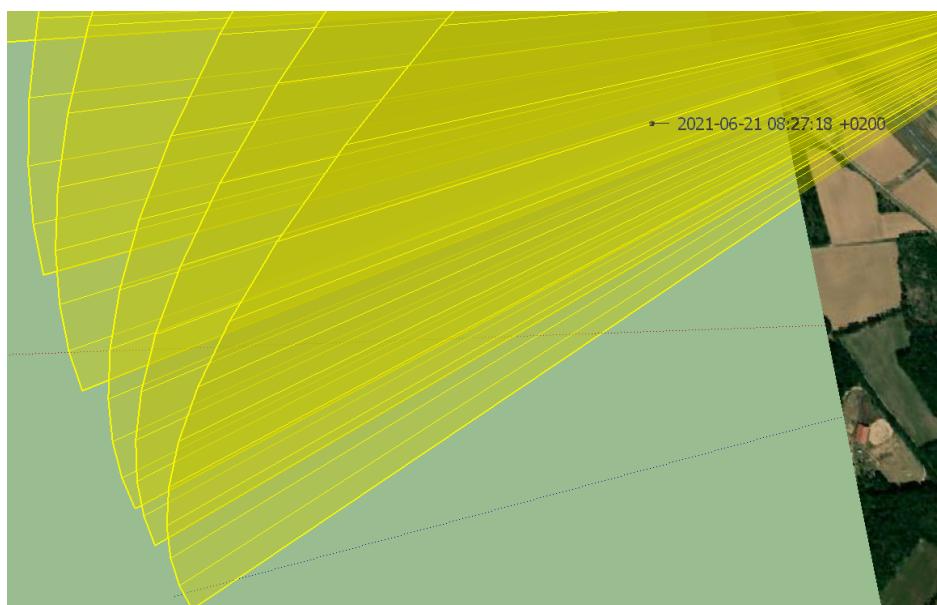


Figure 4 : Accès aux dates et heures de la représentation des rayons réfléchis

## 1.6. Hypothèses de calcul

- Hauteur des points d'observation par rapport à l'altitude du sol : 4 m, ce qui correspond à la hauteur moyenne du bas de pente des habitations étudiées.
- Le calcul est réalisé tous les jours de l'année, avec un pas de temps d'une minute.
- La vérification du risque d'éblouissement est effectuée tous les 2 m le long des façades de la «Cité des Révériens» à proximité immédiate de la centrale.

Nota : L'étude permet d'identifier avec des **hypothèses conservatrices** les éventuels risques d'éblouissement des riverains de la «Cité des Révériens» :

- L'effet de masque des tables entre elles n'est pas pris en compte
- L'étude est géométrique et ne porte pas sur l'intensité de l'éblouissement.
- Les fenêtres sont généralement situées à une hauteur inférieure à 4m.

## 2. Objets de l'étude

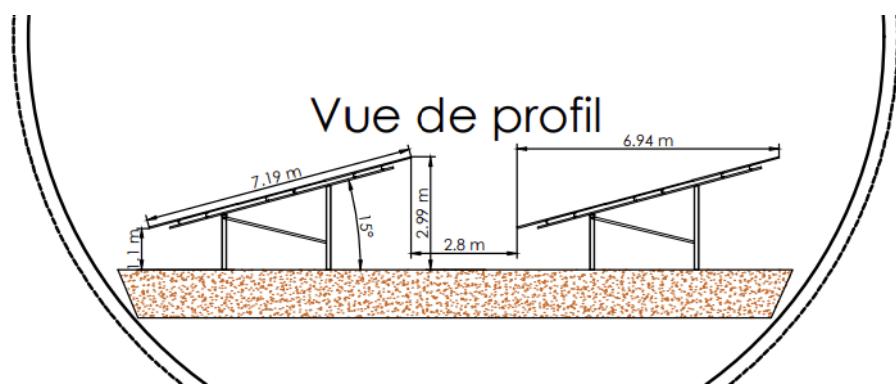
### 2.1. Centrale photovoltaïque

Le projet consiste en la réalisation d'une centrale photovoltaïque, sur le territoire de la commune de Garchizy dans le département de la Nièvre (58), à proximité immédiate de la «Cité des Révériens».



**Figure 5 : Plan de masse**

Les modules sont orientés Sud, Sud-Est, et sont inclinés à 15°, sur des tables en mode « 3H » (la largeur de la table est de 3 modules disposés en portrait).



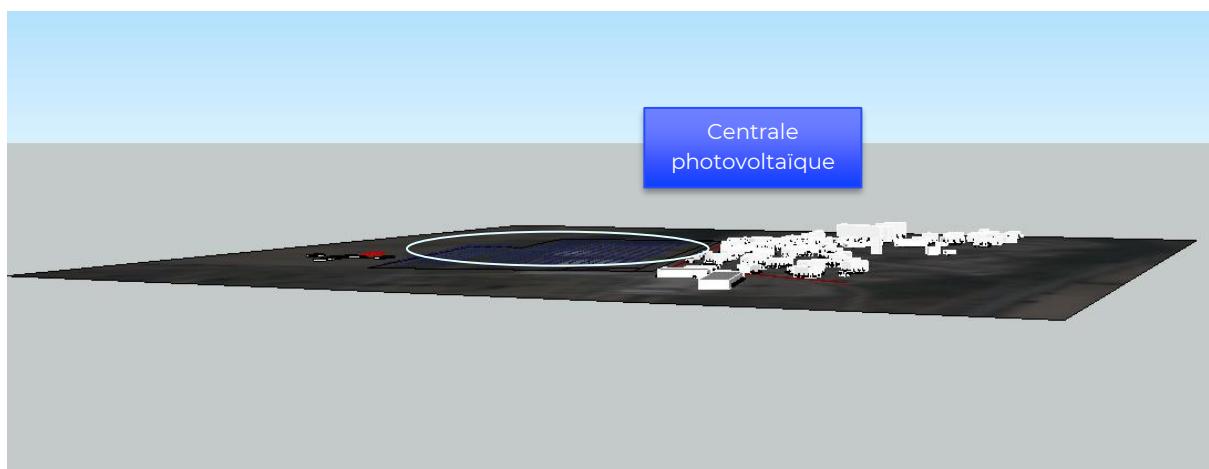
**Figure 6 : Vues de coupe des tables de modules**

Le calcul est réalisé sur un maillage de points régulier d'environ 1 point pour 64 m<sup>2</sup>. Les hauteurs de points de calcul sont de 2.77 m (correspondant à la hauteur moyenne du module le plus haut).



**Figure 7 : Zone d'étude et points de calcul**

La vue 3D ci-dessous permet de se rendre compte de la topographie du site.



**Figure 8 : Représentation de la topographie du site**

## 2.2. «Cité des Révériens»

Les maisons de la «Cité des Révériens» sont modélisées à partir des données MNT de l'IGN. Les façades des maisons à proximité de la centrale sont modélisées par une ligne longeant le bord de la route. Cette approche permet d'identifier des zones sujettes à un risque d'éblouissement.

L'altitude de la «Cité des Révériens» est prise en compte à une résolution de 2 m.



Figure 10 : Modélisation de la «Cité des Révériens»

### 3. Analyse du risque d'éblouissement

#### 3.1. Analyse graphique

##### 3.1.1. «Cité des Révériens»

Les figures suivantes montrent que les rayons réfléchis par la centrale interceptent les habitations de la «Cité des Révériens» et sont susceptibles de gêner les riverains.



Figure 9 : Rayons réfléchis – «Cité des Révériens»

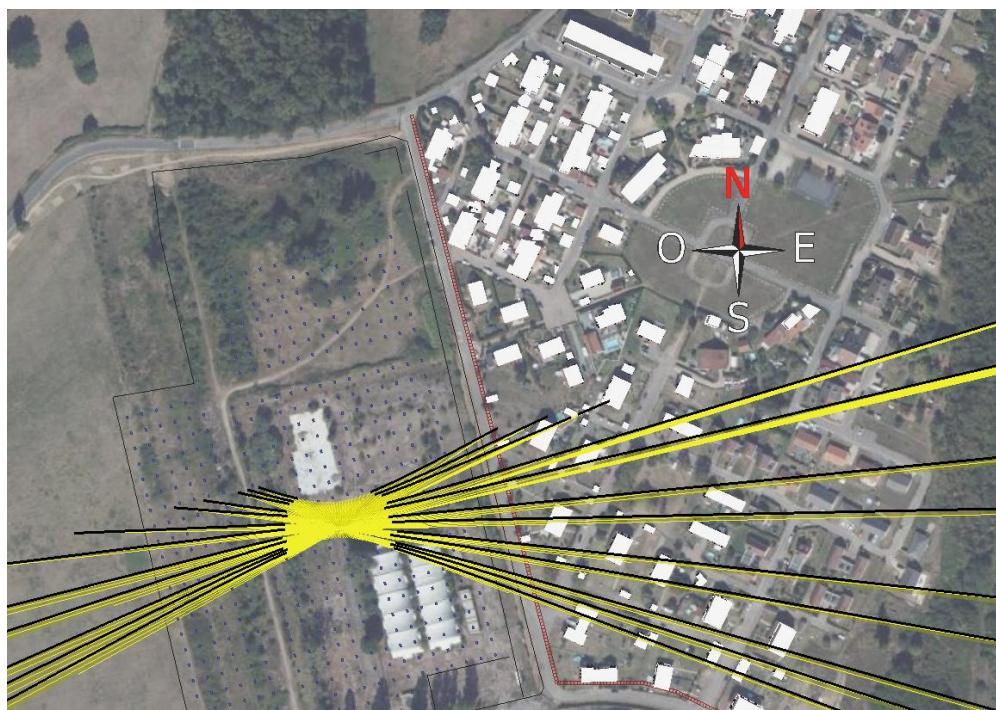


Figure 10 : Rayons réfléchis – «Cité des Révériens» - vue en coupe

## 3.2. Calcul détaillé

### 3.2.1. Sans obstacle

Un premier calcul est réalisé sans obstacle, autre que le terrain, entre la centrale et «Cité des Révériens».

La figure suivante représente les portions concernées par les différents risques :

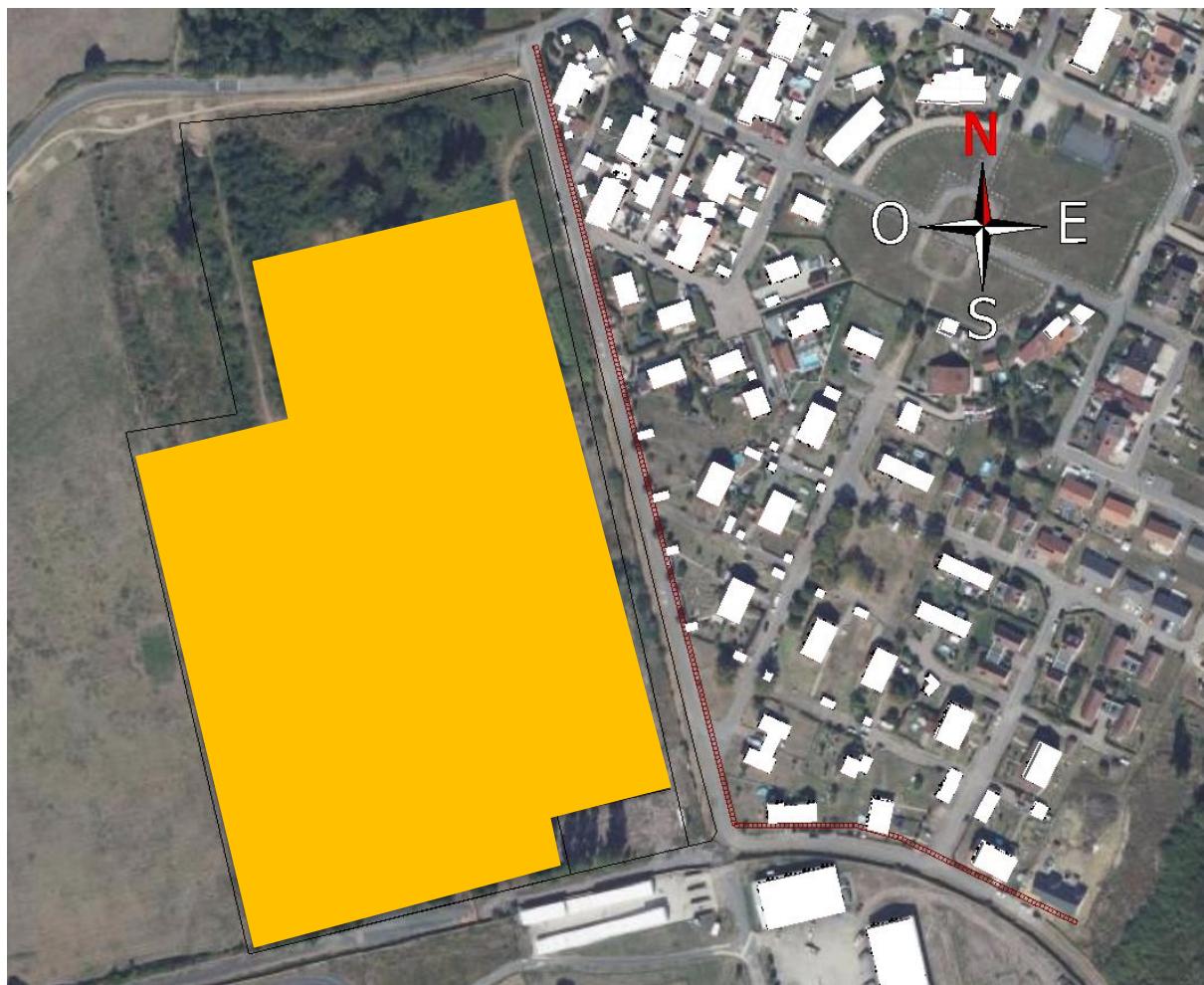
- En blanc : pas d'interception avec les rayons réfléchis par la centrale
- en bleu : angle entre la ligne de vue du conducteur et les modules < 180°, ne subissant pas d'interception avec les rayons réfléchis
- en orange : portion à risque d'éblouissement (interception avec les rayons réfléchis < 180°)



**Figure 11 : Portion concernée par le risque (sans obstacle)**

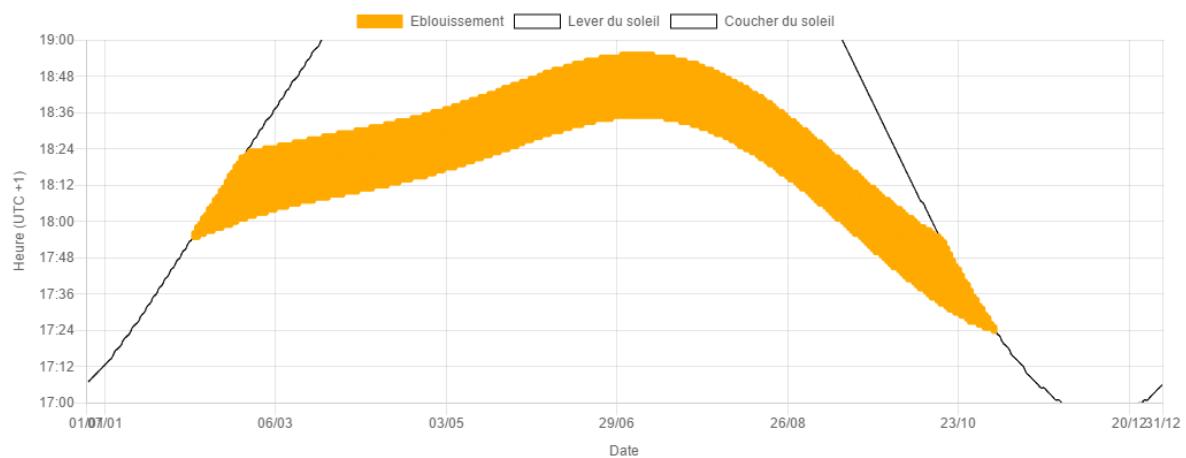
La portion concernée par le risque représente 466 m.

Environ 100 % des modules de la centrale, sont à l'origine du risque d'éblouissement.

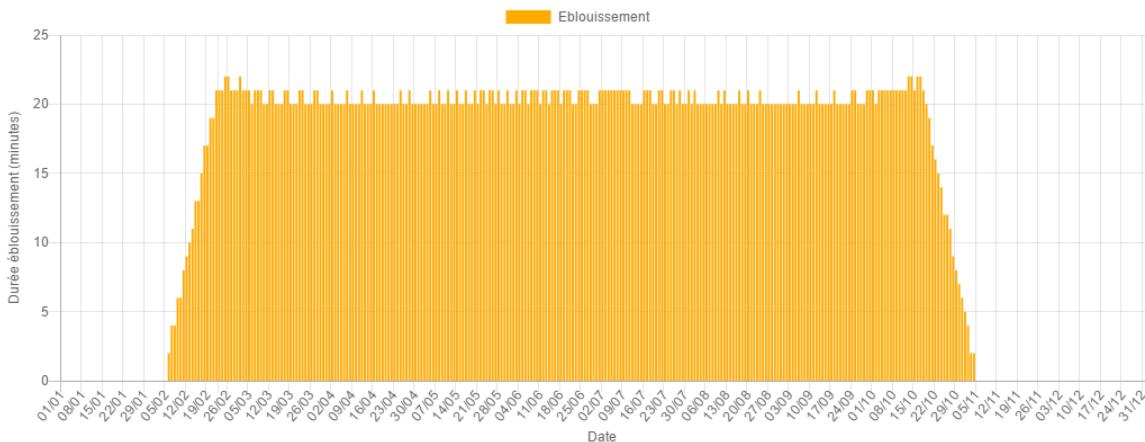


**Figure 12 : Localisation des zones de la centrale sources de risque (en orange) ou non (en vert)**

Les graphiques ci-dessous détaillent les dates, horaires et durées du risque d'éblouissement.



**Figure 13 : dates et heures d'éblouissement – «Cité des Révériens» - (sans obstacle)**



**Figure 14 : dates et durées journalières d'éblouissement – «Cité des Révériens» - (sans obstacle)**

**Tableau 2 : durées (cumuls et moyennes) d'éblouissement – «Cité des Révériens» - (sans obstacle)**

Durée éblouissement (minutes)	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Année
<b>Cumul</b>	0	322	637	606	632	618	640	626	607	547	13	0	<b>5248</b>
<b>Moyenne journalière</b>	0	14	20	20	20	20	20	20	20	17	3	0	<b>19</b>

**Tableau 3 : plage horaire d'éblouissement – «Cité des Révériens» - (sans obstacle)**

Plage horaire d' éblouissement	Début	Fin
<b>Eblouissement</b>	17:23 (UTC +1)	18:55 (UTC +1)

### 3.2.2. Avec écran de 3 m de hauteur

Afin de réduire la visibilité de la centrale depuis la «Cité des Révériens», le projet prévoit la mise en place d'une haie de 3m de haut et 5m de large à l'Est de la centrale et d'une haie de 1m de haut et 2m de large au Sud.

Dans un premier temps, l'implantation des haies de 3 m et 1 m de hauteur est étudiée.



**Figure 15 : Tracé de l'écran modélisé – hauteur : 3 m (en vert) - hauteur : 1 m (en rouge)**

La mise en place des écrans de 3 m et de 1 m de hauteur ne permet pas de réduire la portion à risque.

La portion de façade de la «Cité des Révériens», d'une longueur totale de 466 m, représentée en orange sur la figure ci-dessous, reste à risque d'éblouissement malgré la mise en place des haies prévues par le projet.



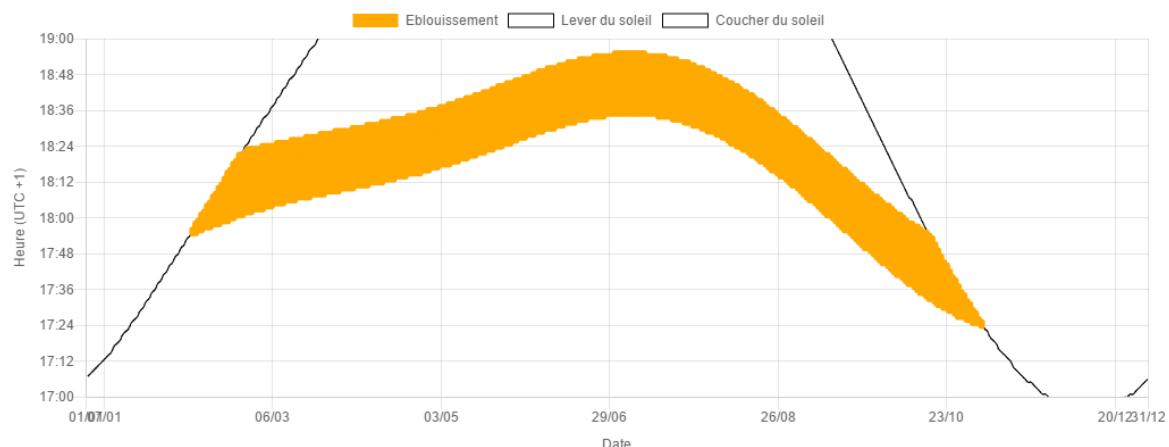
**Figure 16 : Portion concernée par le risque – hauteur : 3 m (en vert) - hauteur : 1 m (en rouge)**

Environ 100% des modules de la centrale, sont à l'origine du risque d'éblouissement.

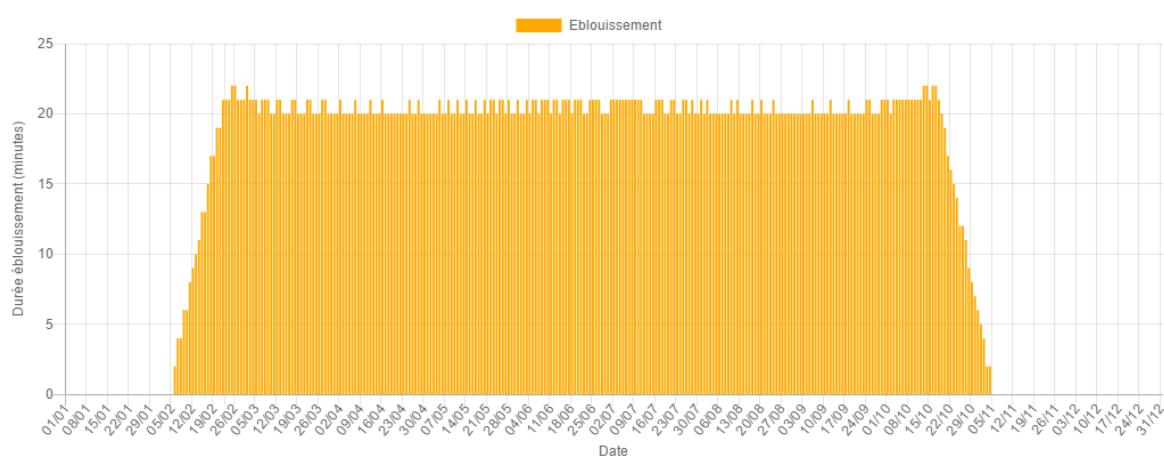


**Figure 17 : Localisation des zones de la centrale sources de risque (en orange) ou non (en vert)**

Les graphiques ci-dessous détaillent les dates, horaires et durées du risque d'éblouissement.



**Figure 18 : Dates et heures d'éblouissement – «Cité des Révériens» (écran de 3 m et 1 m)**



**Figure 19 : Dates et durées journalières d'éblouissement – «Cité des Révériens» (écran de 3 m et 1 m)**

**Tableau 4 : Durées (cumuls et moyennes) d'éblouissement – «Cité des Révériens» - (écran de 3 m et 1 m)**

Durée éblouissement (minutes)	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Année
<b>Cumul</b>	0	322	637	606	632	618	640	626	607	547	13	0	<b>5248</b>
<b>Moyenne journalière</b>	0	14	20	20	20	20	20	20	20	17	3	0	<b>19</b>

**Tableau 5 : Plage horaire d'éblouissement – «Cité des Révériens» - (écran de 3 m et 1 m)**

Plage horaire d' éblouissement	Début	Fin
Eblouissement	17:23 (UTC +1)	18:55 (UTC +1)

### 3.2.3. Avec écran de 4 m de hauteur

Dans cette partie, l'implantation d'une haie de 4 m de hauteur à l'Est est étudiée.



**Figure 20 : Tracé de l'écran modélisé – hauteur : 4 m (en vert) - hauteur : 1 m (en rouge)**

La mise en place d'un écran de 4 m de hauteur permet de réduire la portion à risque de 282 m.

La portion de façade de la «Cité des Révériens», d'une longueur totale de 184 m, représentée en orange sur la figure ci-dessous, reste à risque d'éblouissement malgré la mise en place d'une haie de 4 m de hauteur à l'Est.

Le risque peut être relativisé car la portion est éblouie aux mêmes moments par le soleil qui se situe dans la même direction que les modules.



**Figure 21 : Portion concernée par le risque – hauteur : 4 m (en vert) - hauteur : 1 m (en rouge)**

Environ 25% des modules de la centrale, sont à l'origine du risque d'éblouissement.

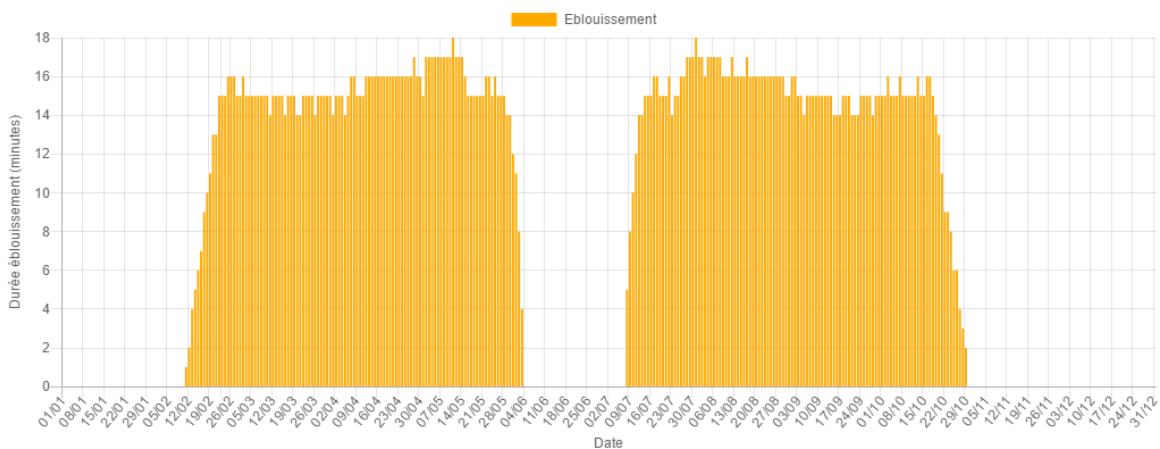


**Figure 22 : Localisation des zones de la centrale sources de risque (en orange) ou non (en vert)**

Les graphiques ci-dessous détaillent les dates, horaires et durées du risque d'éblouissement.



**Figure 23 : Dates et heures d'éblouissement – «Cité des Révériens» (écran de 4 m et 1 m)**



**Figure 24 : Dates et durées journalières d'éblouissement – «Cité des Révériens» (écran de 4 m et 1 m)**

**Tableau 6 : durées (cumuls et moyennes) d'éblouissement – «Cité des Révériens» - (écran de 4 m et 1 m)**

Durée éblouissement (minutes)	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Année
<b>Cumul</b>	0	189	461	470	491	23	346	503	444	360	0	0	<b>3287</b>
<b>Moyenne journalière</b>	0	10	14	15	15	7	14	16	14	12	0	0	<b>14</b>

**Tableau 7 : plage horaire d'éblouissement – «Cité des Révériens» - (écran de 4 m et 1 m)**

Plage horaire d'éblouissement	Début	Fin
<b>Eblouissement</b>	17:33 (UTC +1)	18:53 (UTC +1)

### 3.2.4. Avec prolongation de l'écran de 4 m de hauteur

Dans cette partie, la prolongation de la haie de 4 m de hauteur à l'Est est étudiée.



**Figure 25 : Tracé de l'écran modélisé – hauteur : 4 m (en vert) - hauteur : 1 m (en rouge)**

La prolongation de l'écran de 4 m de hauteur permet de réduire la portion à risque de 88 m.

La portion de façade de la «Cité des Révériens», d'une longueur totale de 96 m, représentée en orange sur la figure ci-dessous, reste à risque d'éblouissement malgré la mise en place d'une haie de 4 m de hauteur prolongée.

Le risque peut être relativisé car la portion est éblouie aux mêmes moments par le soleil qui se situe dans la même direction que les modules.



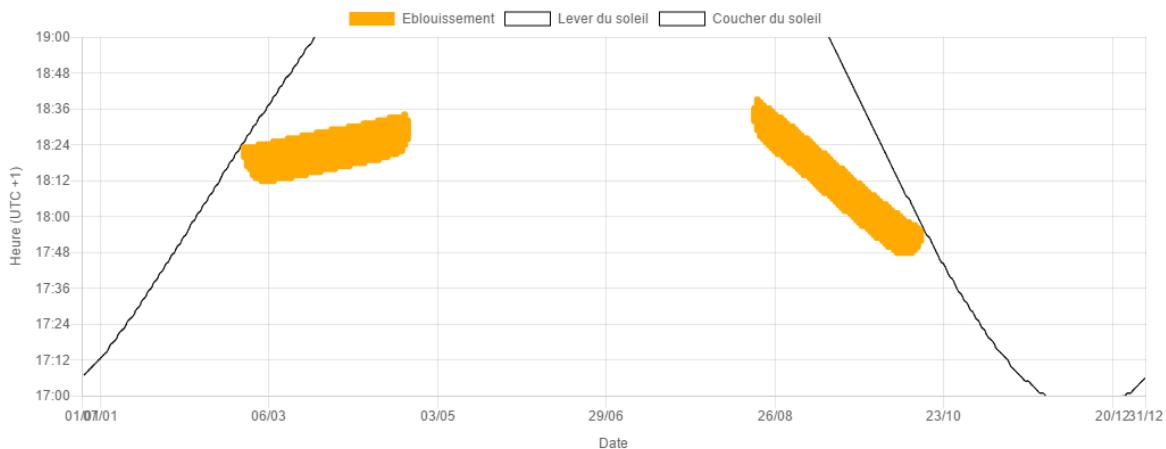
**Figure 26 : Portion concernée par le risque – hauteur : 4 m (en vert) - hauteur : 1 m (en rouge)**

Environ 11% des modules de la centrale, sont à l'origine du risque d'éblouissement.

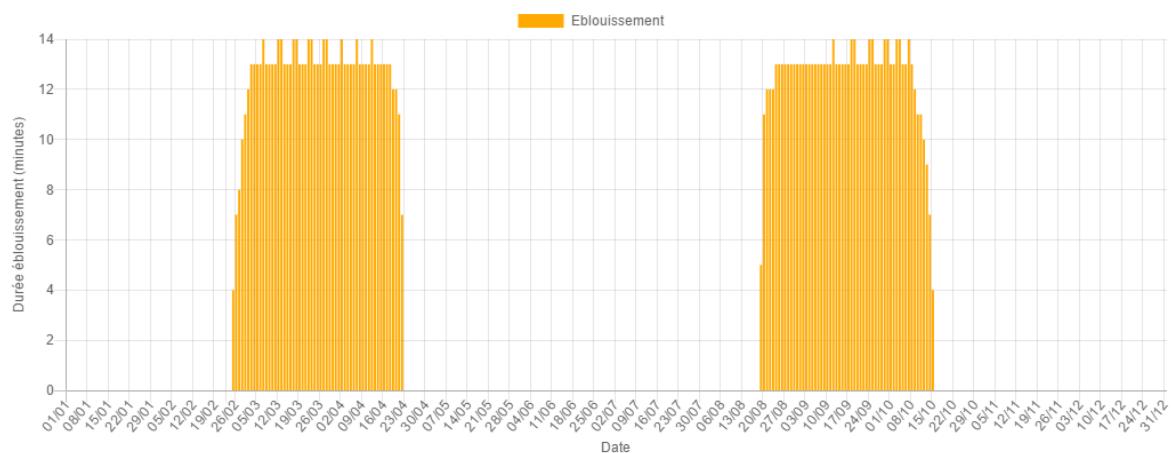


**Figure 27 : Localisation des zones de la centrale sources de risque (en orange) ou non (en vert)**

Les graphiques ci-dessous détaillent les dates, horaires et durées du risque d'éblouissement.



**Figure 28 : Dates et heures d'éblouissement - «Cité des Révériens» (écran de 4 m prolongé et 1 m)**



**Figure 29 : Dates et durées journalières d'éblouissement – «Cité des Révérences»  
(écran de 4 m prolongé et 1 m)**

**Tableau 8 : durées (cumuls et moyennes) d'éblouissement – «Cité des Révérences» -  
(écran de 4 m prolongé)**

Durée éblouissement (minutes)	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Année
<b>Cumul</b>	0	29	409	279	0	0	0	156	397	171	0	0	<b>1441</b>
<b>Moyenne journalière</b>	0	7	13	12	0	0	0	12	13	11	0	0	<b>12</b>

**Tableau 9 : plage horaire d'éblouissement – «Cité des Révérences» - (écran de 4 m prolongé)**

Plage horaire d' éblouissement	Début	Fin
<b>Eblouissement</b>	17:48 (UTC +1)	18:38 (UTC +1)

### 3.2.5. Avec une haie de 4 m de hauteur au Sud

Dans cette partie, l'implantation d'une haie de 4 m de hauteur au Sud est étudiée.



**Figure 30 : Tracé de l'écran modélisé – hauteur : 4 m (en vert) - hauteur : 4 m (en rouge)**

L'implantation d'un écran de 4 m de hauteur au Sud permet de supprimer le risque d'éblouissement pour les habitations de la « Cité des Révériens » à proximité de la centrale.

## **4. Conclusion**

Le projet de centrale photovoltaïque présente un risque d'éblouissement pour les riverains de la «Cité des Révériens». L'ajout de haie de 4 m de hauteur permet de limiter voire supprimer ce risque d'éblouissement.