

Évaluation du risque d'éblouissement  
par une centrale photovoltaïque au sol  
à proximité de  
la ligne LGV Bordeaux-Tours  
(Sauzé-Vaussais)

Urba 399 

**Cythelia Energy**

<b>Date :</b> 22/12/2022 <b>Version :</b> 1	<b>Rédigé par :</b> Clément GREGOIRE	<b>Validé par :</b> Caroline BERNARD	<b>Modifications :</b>
<b>Date :</b> 10/01/2023 <b>Version :</b> 2	<b>Rédigé par :</b> Clément GREGOIRE		<b>Modifications :</b> Modification hauteur de 2m à 2.98m

## I. Table des matières

I. Table des matières.....	2
II. Introduction.....	3
III. Présentation du projet.....	4
IV. Méthodologie .....	5
IV.1. Calcul du vecteur Réflexion .....	6
IV.2. Rayons réfléchis par les modules photovoltaïques .....	7
IV.3. Implantation des modules photovoltaïques.....	8
V. Analyse du risque d'éblouissement.....	9
V.1. Rayons réfléchis.....	9
V.2. Analyse éblouissement sens circulation Nord → Sud .....	11
V.3. Analyse éblouissement sens circulation Sud → Nord .....	13
V.4. Récapitulatif.....	15
VI. Conclusion .....	16

## II. Introduction

La société URBA 399 développe un projet de centrale photovoltaïque sur le territoire de la commune de Sauzé-Vaussais. Ce projet se trouve à proximité immédiate de la ligne LGV Bordeaux-Tours.

Ce rapport présente l'évaluation du risque d'éblouissement du projet de centrale photovoltaïque vis-à-vis des conducteurs de trains de la ligne LGV.

L'objectif de cette étude est d'identifier les espaces concernés par la réflexion des rayons du soleil et de caractériser l'éblouissement potentiel sur les conducteurs de trains de la LGV.

### III. Présentation du projet

Le projet de centrale photovoltaïque de la société URBA 399 consiste en la réalisation d'une centrale au sol fixe sur le territoire de la commune de Sauzé-Vaussais, à proximité immédiate de la ligne LGV comme visible sur la figure suivante.



Figure 1 : Localisation du projet

## IV. Méthodologie

Une analyse graphique permet d'identifier les circonstances pendant lesquelles un risque d'éblouissement est possible. Cette approche permet de conclure très simplement, de la présence ou l'absence de risque d'éblouissement.

1. Calcul du vecteur Réflexion : pour chaque pas de temps (10 minutes) de chaque jour moyen de chaque mois<sup>1</sup>, à l'exception des mois de juin et décembre, pour lesquels les jours de solstices sont considérés, les directions dans lesquelles les rayons du soleil sont réfléchis par les modules sont déterminées.
2. Modélisation 3D (sous SketchUp) des surfaces de réflexion et identification des intersections entre surfaces de réflexion et zones sensibles.

En créant une surface entre deux rayons 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.

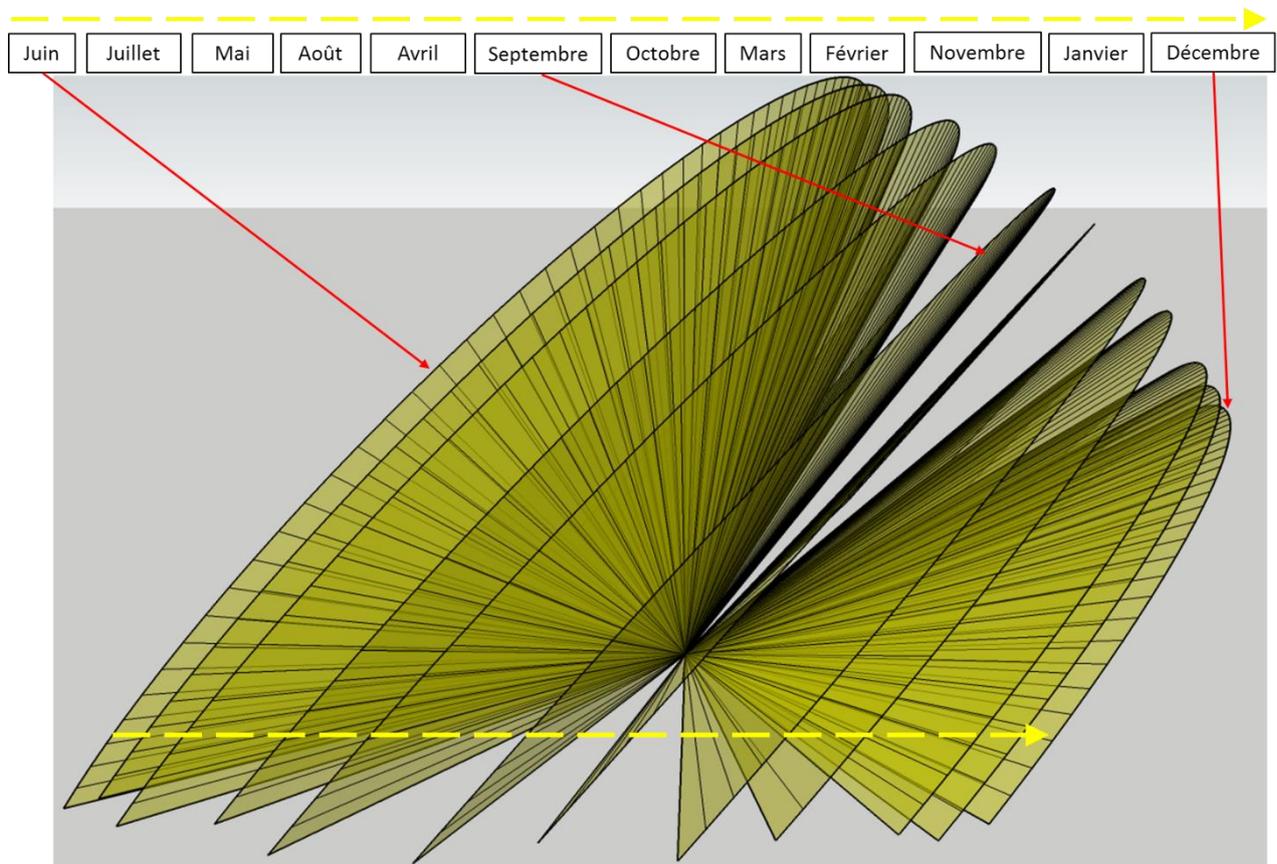


Figure 2 : Surfaces de rayons réfléchis (exemple)

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.**

**L'analyse graphique considère ainsi toutes les positions prises par le soleil au-dessus de l'horizon à tout instant du jour et 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)).

#### IV.1. Calcul du vecteur Réflexion

Les coordonnées du site sont : 46.121, 0.126

Grâce aux coordonnées géographiques du site il est possible de générer le diagramme solaire représenté en Figure 3. 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.

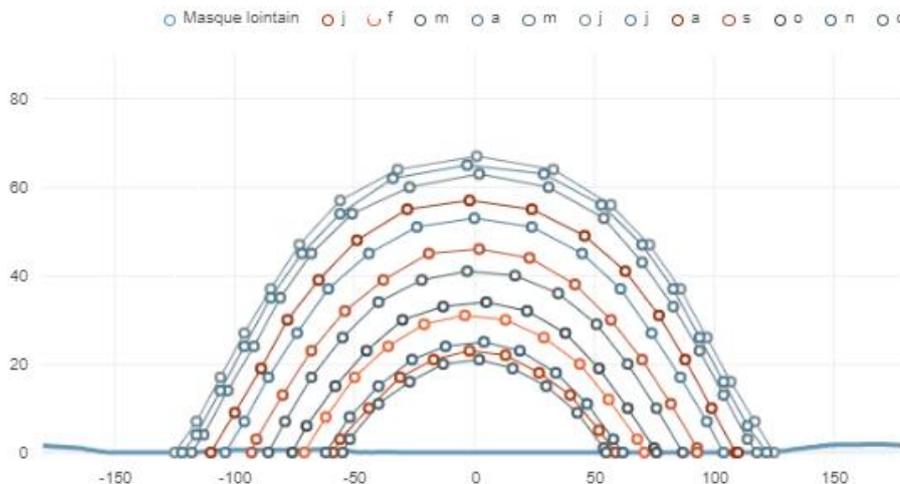


Figure 3 : Masque lointain sur le site

Nous définissons un système de coordonnées orthonormé ayant pour origine le centre d'un des modules. L'axe des X est orienté vers l'Est, celui des Y vers le Nord, et l'axe des Z caractérise l'élévation.

On peut donc calculer le vecteur définissant la position du soleil,  $\vec{V}_{inc}$

Il est possible de calculer le vecteur réflexion  $\vec{V}_{ref}$  au moyen de la relation :

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

$\vec{n}$  : vecteur normal au plan des modules

Nous calculons les vecteurs « réflexion » pour chaque jour moyen du mois, toutes les 10 minutes.

Le vecteur incident, et donc le vecteur réfléchi, sont nuls lorsque la hauteur du soleil est inférieure à la hauteur du masque (pour l'azimut du soleil).

La Figure 3 permet également de visualiser le **masque lointain** constitué par le relief alentour. 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/>

**Le masque lointain est négligé.**

## IV.2. 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.

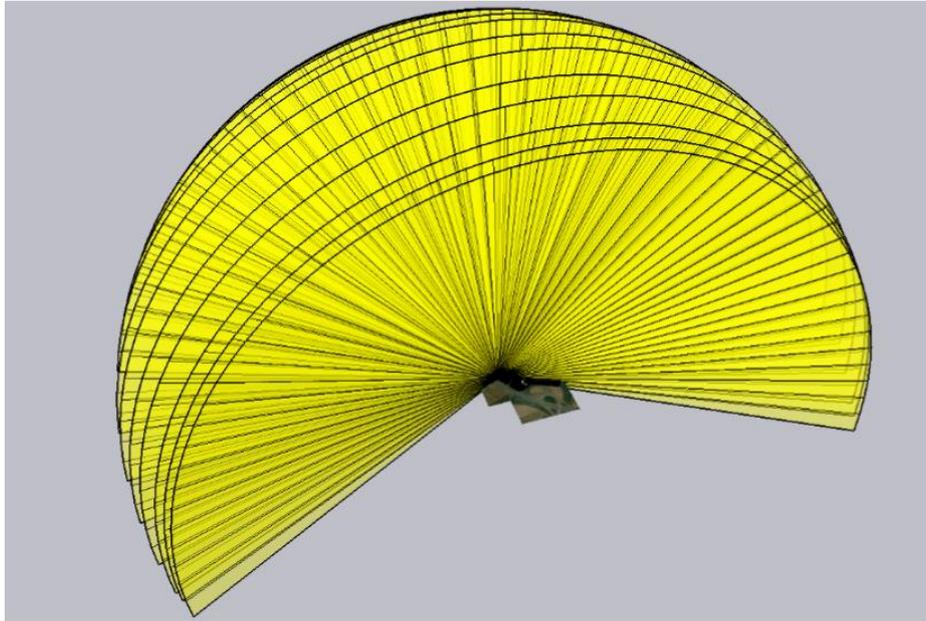


Figure 4 : Représentation 3D des rayons réfléchis sur 12 mois

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

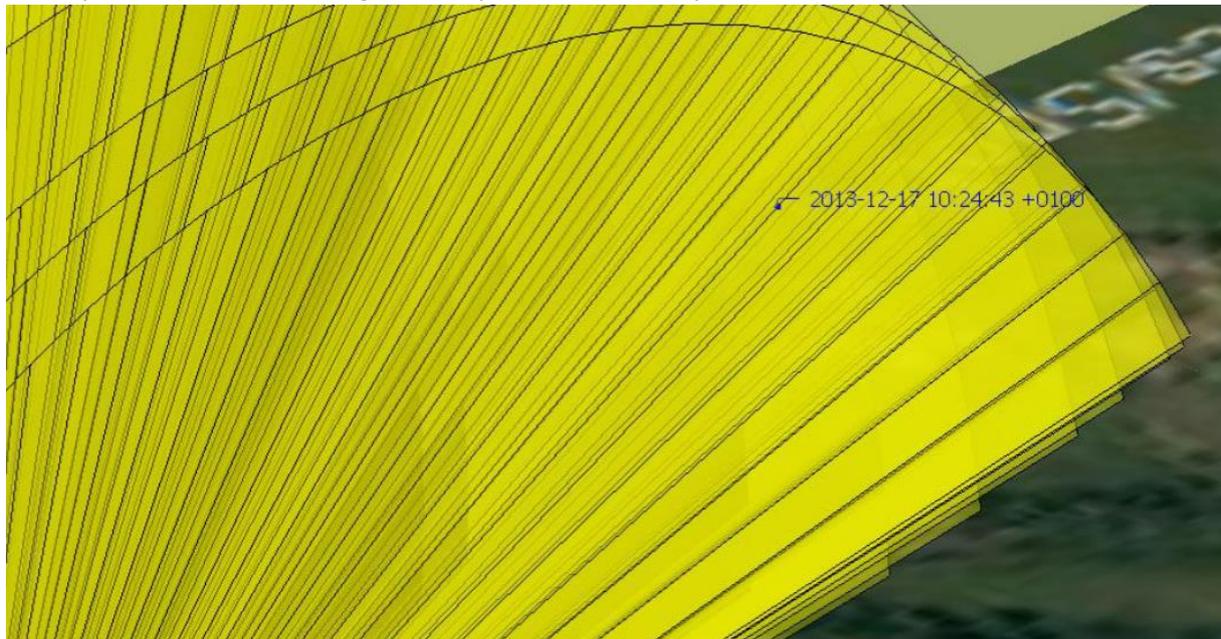


Figure 5 : Accès aux dates et heures de la représentation des rayons réfléchis

### IV.3. Implantation des modules photovoltaïques

Les modules photovoltaïques seront installés sur des tables inclinées à 15° et orientées plein Sud. La hauteur maximale des modules photovoltaïques considérée pour l'étude est de 2.98 m par rapport au sol.



Figure 6 : Implantation des modules PV

## V. Analyse du risque d'éblouissement

### V.1. Rayons réfléchis

Comme le montrent la figure ci-dessous, les rayons réfléchis interceptent la ligne LGV.

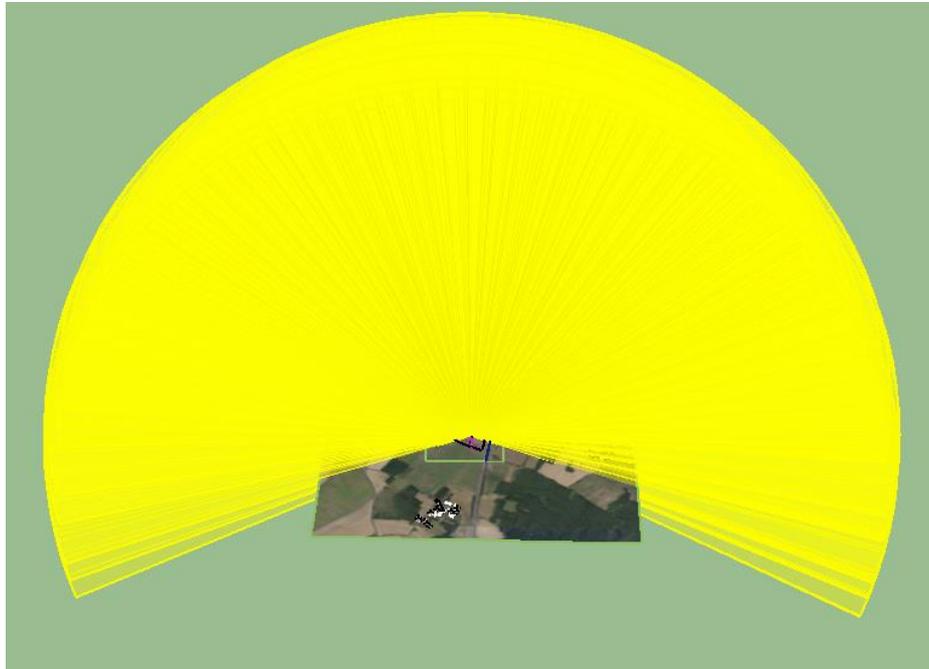


Figure 7 : Rayons réfléchis

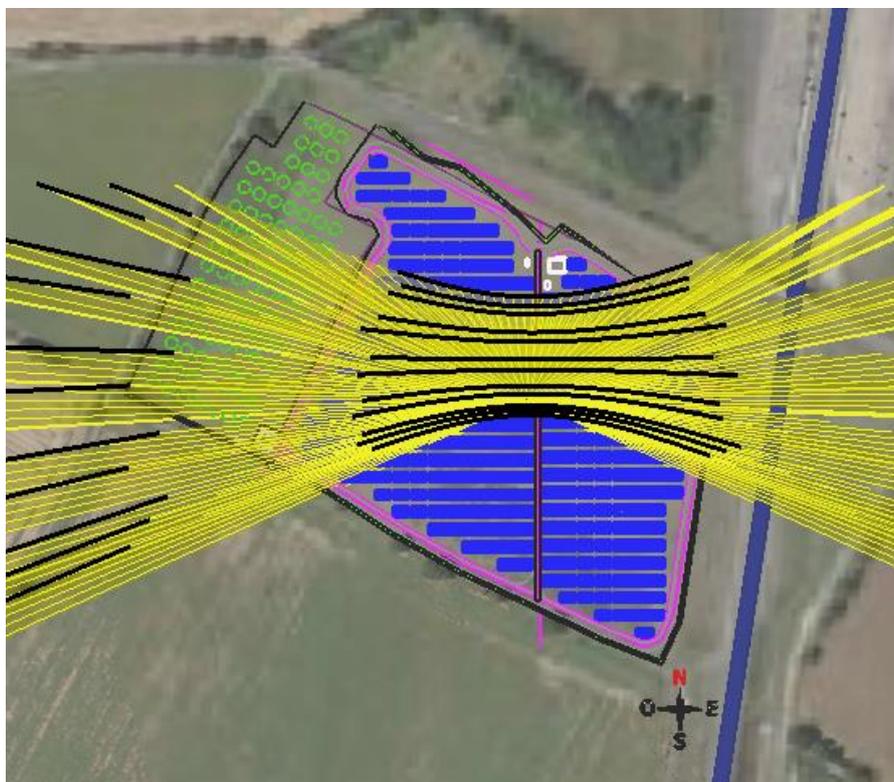


Figure 8 : Rayons réfléchis - vue en coupe

Une analyse détaillée est donc nécessaire. Quatre points de référence, origines des rayons réfléchis, sont considérés pour l'étude. Ils correspondent aux 4 extrémités de la centrale

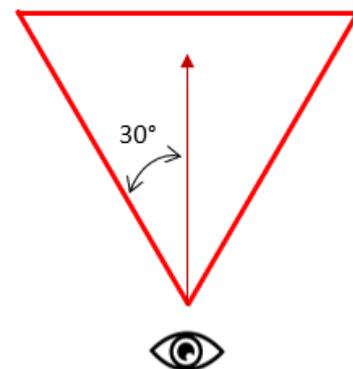


Figure 9 : 4 modules étudiés (en orange ci-dessus)

L'angle de  $30^\circ$ , qui correspond à la zone de vision centrale, est celui retenu par la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC) pour vérifier le caractère gênant d'un rayon réfléchi, pour un aéronef en phase d'approche ou au roulage. Lorsque l'angle d'interception est inférieur à  $30^\circ$  avec une distance inférieure à 3 km du point d'observation, la DGAC considère que le risque de gêne pour les pilotes ne peut être exclu. Si l'angle est supérieur à  $30^\circ$ , le risque d'éblouissement peut être exclu.

Par analogie avec la Notice d'Information Technique de la DGAC, les rayons réfléchis par la centrale interceptant les conducteurs de trains sur la LGV avec un angle supérieur à  $30^\circ$  seront considérés comme non éblouissants.

Les triangles rouges ci-dessous sont équilatéraux et permettent de mettre en avant les angles inférieurs à  $30^\circ$ .



V.2. Analyse éblouissement sens circulation Nord → Sud

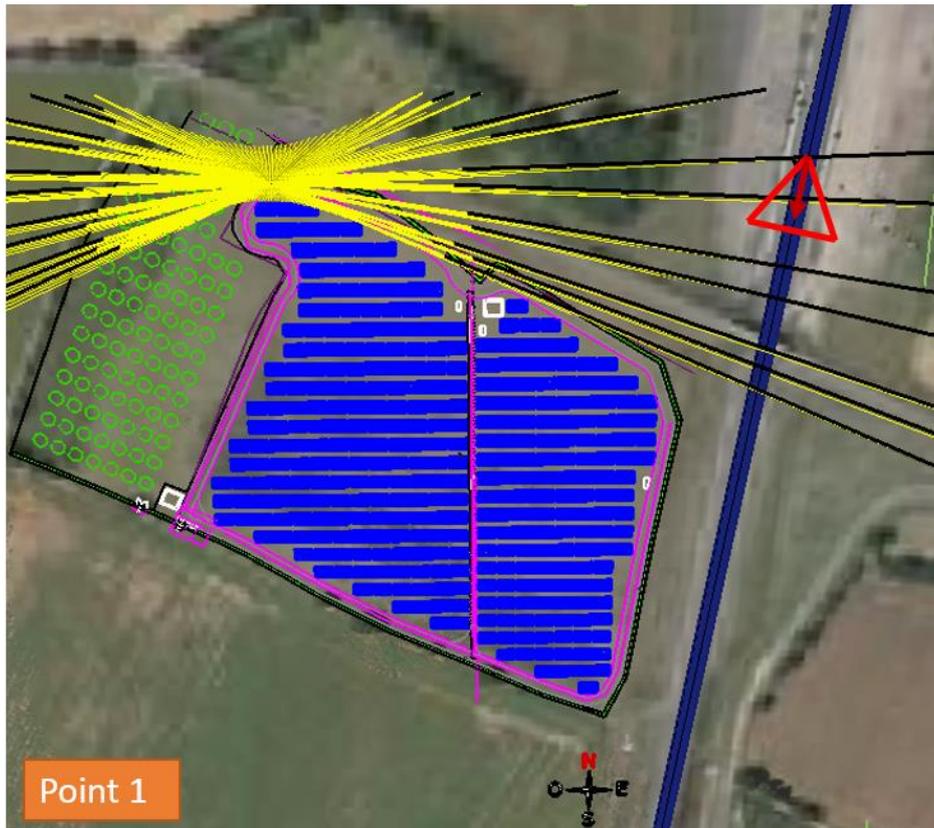


Figure 10 : Rayons réfléchis – Point 1 – Sens Nord → Sud

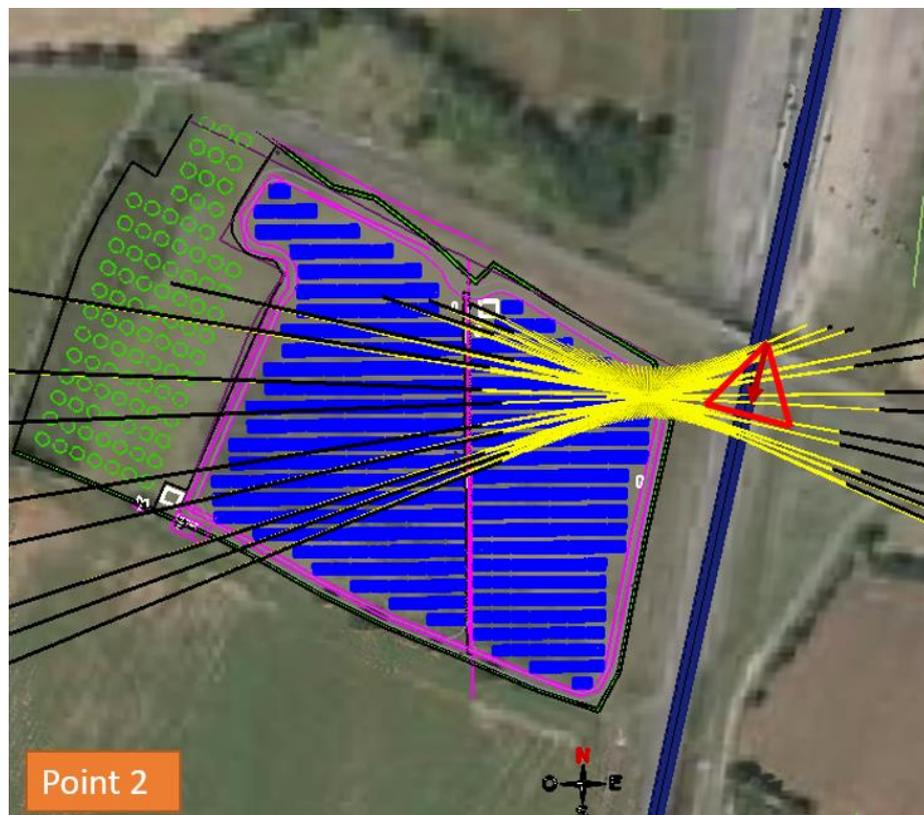


Figure 11 : Rayons réfléchis – Point 2 – Sens Nord → Sud

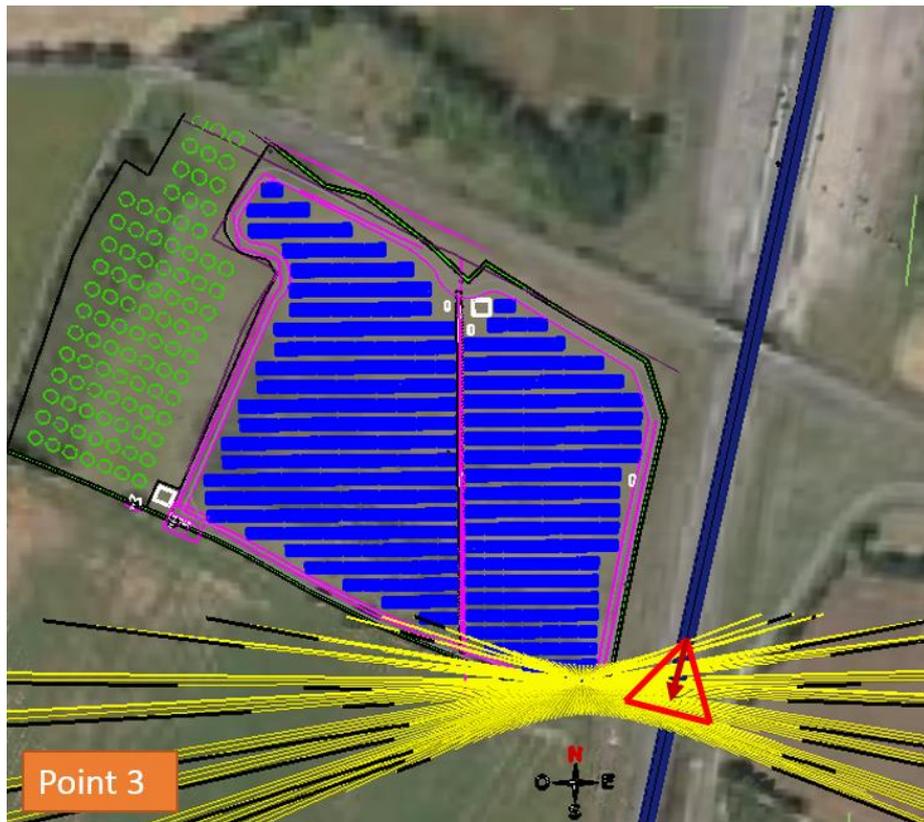


Figure 12 : Rayons réfléchis – Point 3 – Sens Nord → Sud

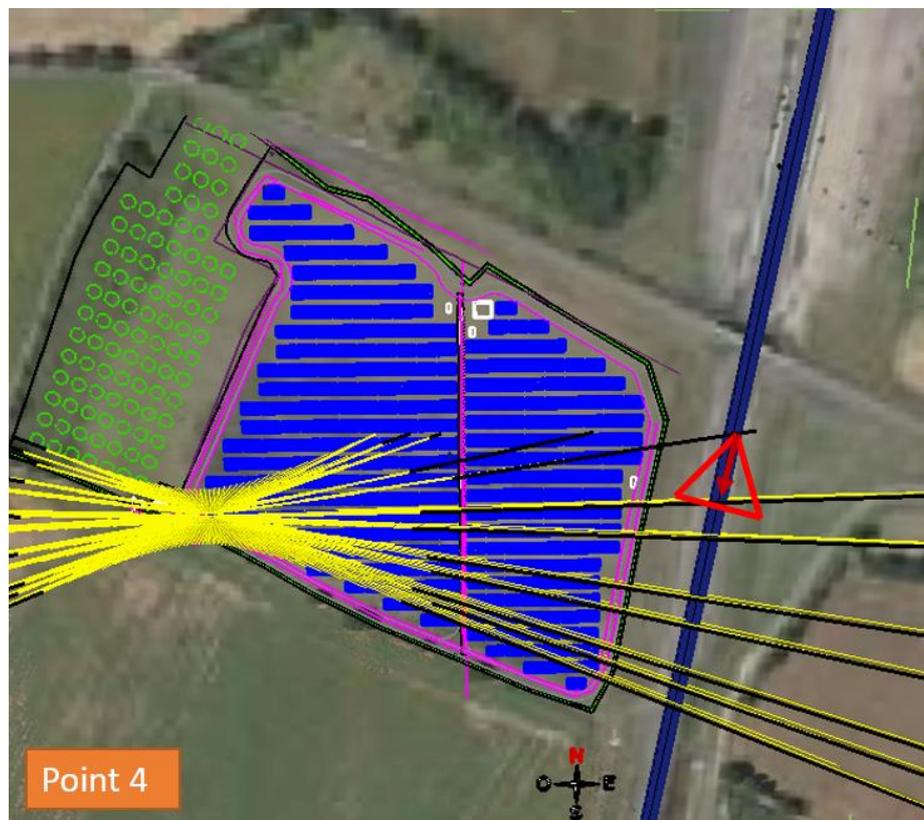


Figure 13 : Rayons réfléchis – Point 4 – Sens Nord → Sud

**Le risque d'éblouissement est donc écarté pour le sens de circulation Nord → Sud.**

### V.3. Analyse éblouissement sens circulation Sud → Nord

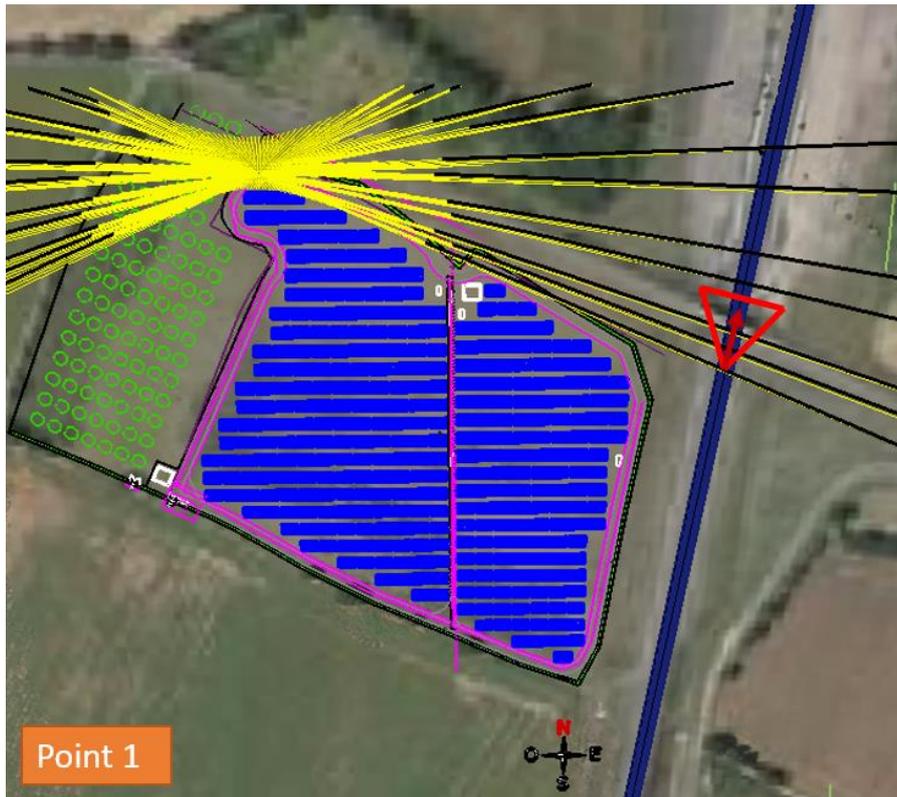


Figure 14 : Rayons réfléchis – Point 1 – Sens Sud → Nord

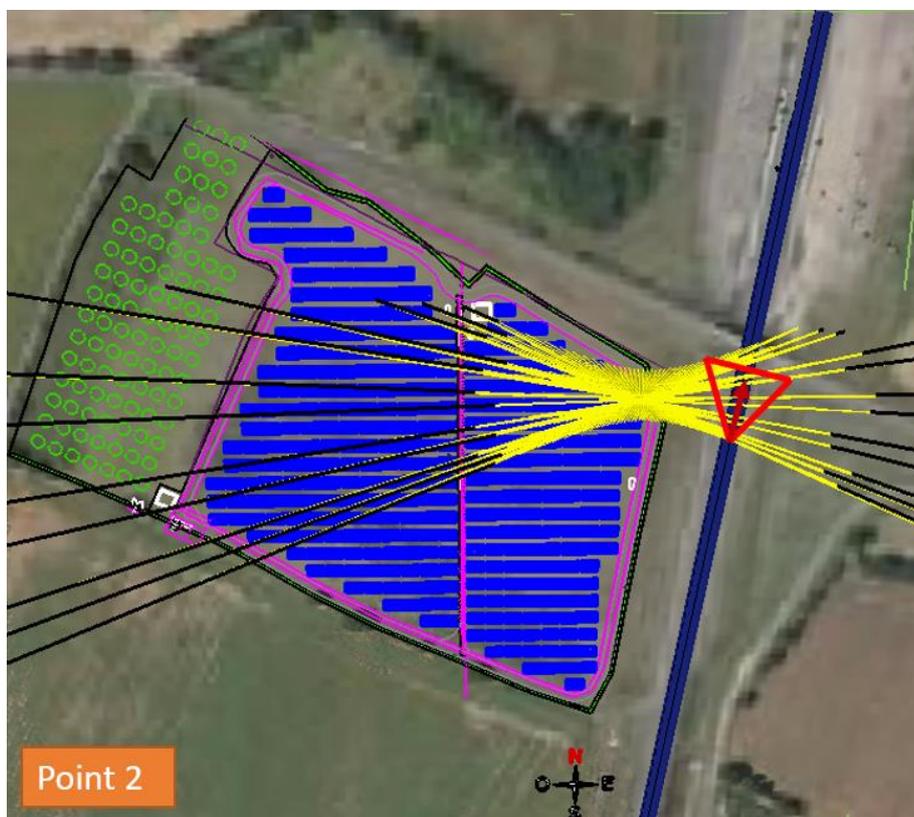


Figure 15 : Rayons réfléchis – Point 2 – Sens Sud → Nord

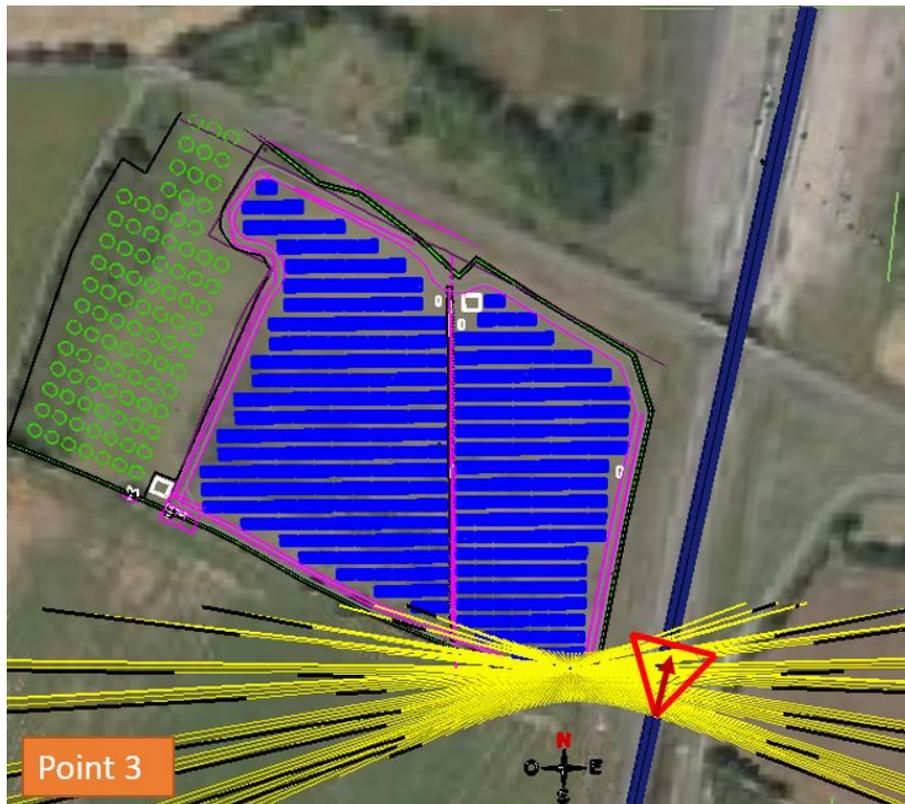


Figure 16 : Rayons réfléchis – Point 3 – Sens Sud → Nord

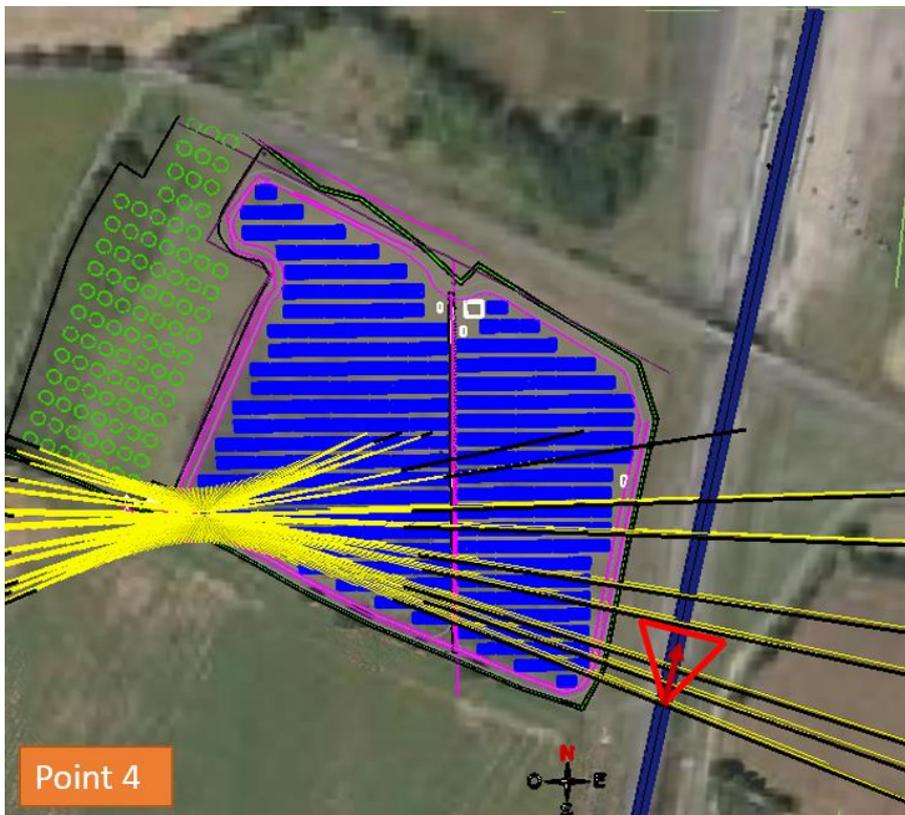


Figure 17 : Rayons réfléchis – Point 4 – Sens Sud → Nord

Le risque d'éblouissement est donc écarté pour le sens de circulation Sud → Nord.

#### V.4. Récapitulatif

Comme le montrent les vues ci-dessus, les rayons réfléchis interceptent la ligne LGV avec des angles supérieurs à 30°, et cela, pour les deux sens de circulation.

Le tableau ci-dessous récapitule, pour chaque point origine les conclusions de l'étude.

Point origine	Risque d'éblouissement - Ligne LGV	
	Sens de circulation Nord -> Sud	Sens de circulation Sud -> Nord
1	NON (angle > 30°)	NON (angle > 30°)
2	NON (angle > 30°)	NON (angle > 30°)
3	NON (angle > 30°)	NON (angle > 30°)
4	NON (angle > 30°)	NON (angle > 30°)

**Le risque d'éblouissement est donc écarté.**

## VI. Conclusion

**L'étude montre que les rayons réfléchis par la centrale photovoltaïque interceptent la ligne LGV avec des angles d'interception supérieurs à 30°.**

**Par analogie avec la Notice d'Information Technique de la DGAC qui régit l'éblouissement pour les aérodromes et héliports, le risque d'éblouissement pour les conducteurs de trains sur la ligne LGV est écarté pour les deux sens de circulation.**