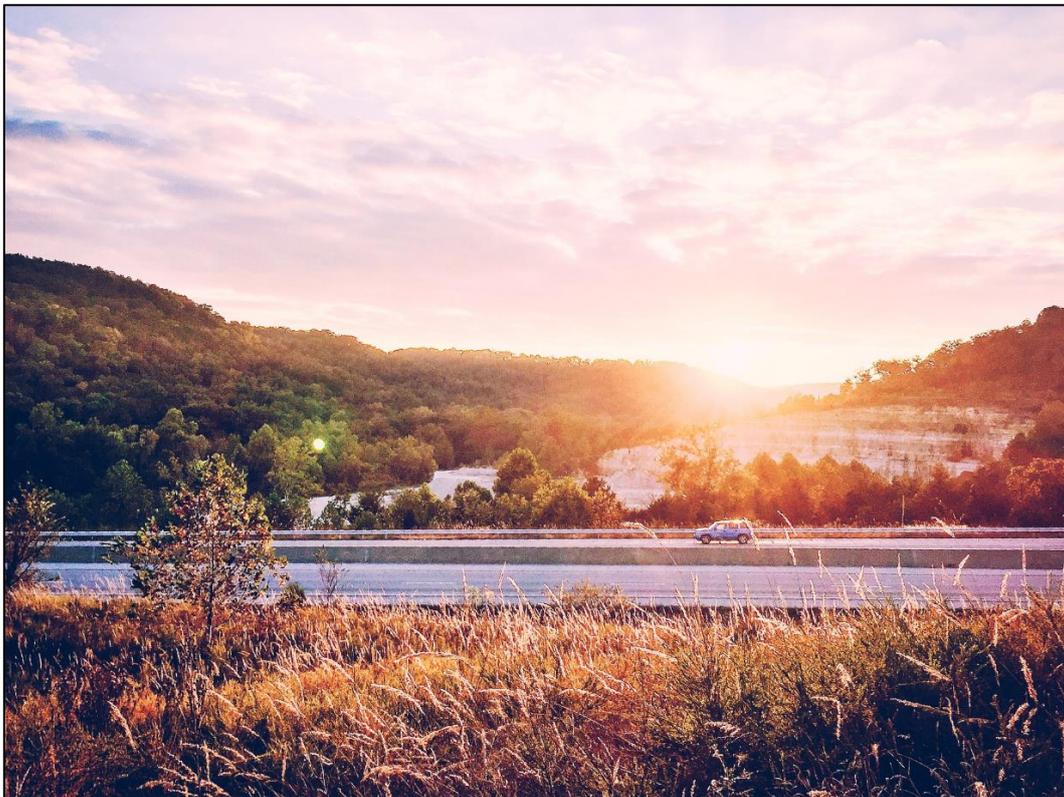




55, allée Pierre Ziller  
06 560 Sophia Antipolis

# Etude de Réverbération

## Projet Photovoltaïque de Poiseul



20 décembre 2022 – version 1

## 1. SOMMAIRE

1.	SOMMAIRE .....	2
2.	PRESENTATION GENERALE .....	3
2.1.	PRESENTATION DU DOCUMENT .....	3
2.2.	PRESENTATION DES INTERVENANTS .....	3
3.	PRESENTATION DU PROJET ET DES ENTREES CONSIDEREES .....	4
3.1.	PRESENTATION DU PROJET .....	4
3.2.	PRESENTATION DES ELEMENTS MODELISES .....	7
	LE GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE .....	7
	LA TRAJECTOIRE DES VEHICULES .....	8
	LA TOPOGRAPHIE .....	9
	LES MODULES .....	10
	LA LUMINANCE DU SOLEIL .....	11
	LA COURSE DU SOLEIL .....	12
4.	ANALYSE .....	13
5.	CONCLUSION .....	20

## 2. PRESENTATION GENERALE

### 2.1. PRESENTATION DU DOCUMENT

Ce document présente l'étude de réverbération du projet photovoltaïque de la société TSE localisé à Poiseul-la-Ville-et-Laperrière (Côte-d'Or), à proximité de la départementale D971. L'objectif de cette étude est d'identifier les régions de l'espace concernées par la réflexion spéculaire des rayons du Soleil sur les modules photovoltaïques en fonction de la date et de l'heure ainsi que de caractériser ces impacts.

Ce document est composé de deux parties :

- Une première partie présentant le projet ainsi que toutes les entrées considérées.
- Une deuxième partie présentant les résultats obtenus.

### 2.2. PRESENTATION DES INTERVENANTS

#### Donneur d'ordre



7, rue Georges Charpak  
38 300 Bourgoin-Jallieu

#### Contact :

M. Rémy FIRPIONN – [remy.firpionn@tse.energy](mailto:remy.firpionn@tse.energy)

#### Cabinet d'Ingénierie



55, allée Pierre Ziller  
06 560 Sophia Antipolis

#### Contact :

M. Christophe VERNAY – [christophe.vernay@solais.fr](mailto:christophe.vernay@solais.fr)

### 3. PRESENTATION DU PROJET ET DES ENTRES CONSIDEREES

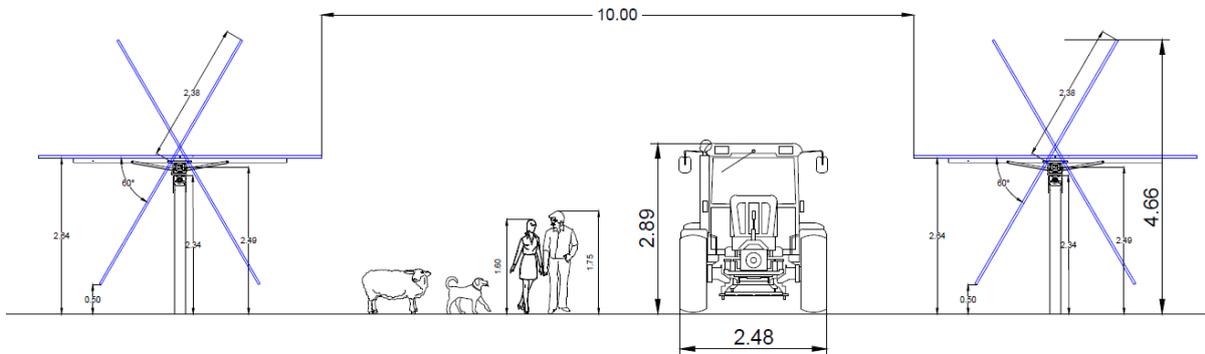
#### 3.1. PRESENTATION DU PROJET

Le projet de la société TSE consiste à réaliser une centrale photovoltaïque au sol à Poiseul-la-Ville-et-Laperrière (Côte-d’Or), à proximité de la départementale D971.

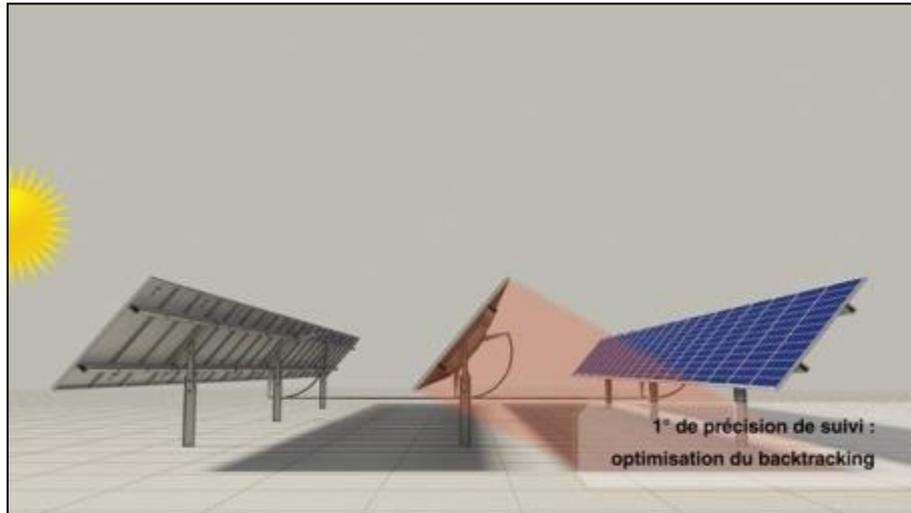
Intitulé	Latitude	Longitude
Centrale au sol fixe	47,572635°	4,686612°

Le tableau suivant détaille les caractéristiques des trackers :

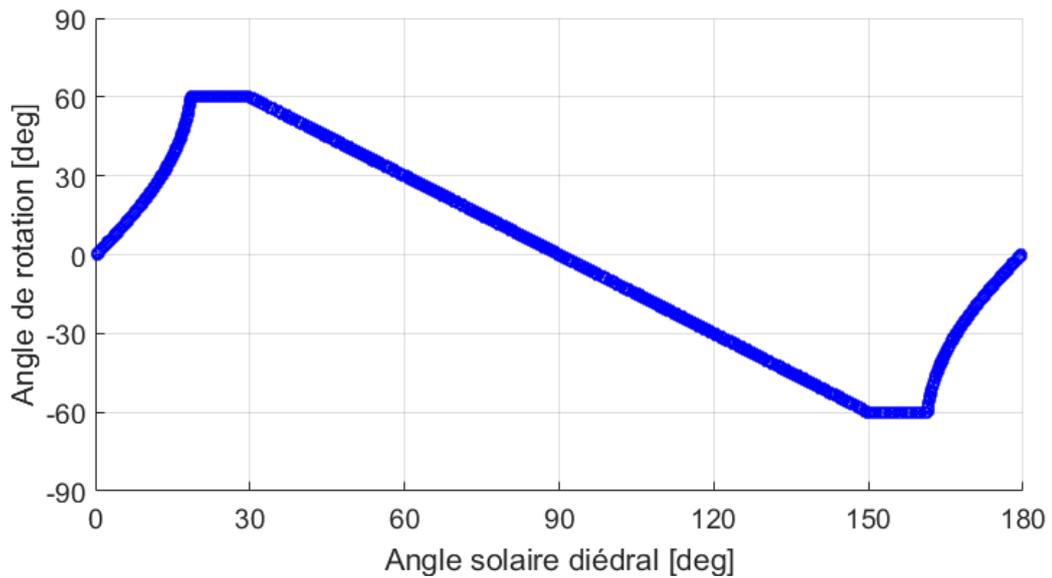
Intitulé	Axe de rotation par rapport à l’axe nord-sud	Angle de rotation	Hauteur moyenne	Entraxe	Largeur de bande collectrice
Centrale au sol avec tracking 1-axe	0° (axe Nord-Sud)	± 60°	2,6 m	14,8 m	4,8 m



Ce système dispose d'un algorithme de backtracking permettant de limiter les ombrages mutuels en début et en fin de journée comme l'illustre la figure suivante.



La figure suivante présente le profil quotidien de la cinématique utilisée dans le cadre de cette étude et associée aux caractéristiques précédemment mentionnées.



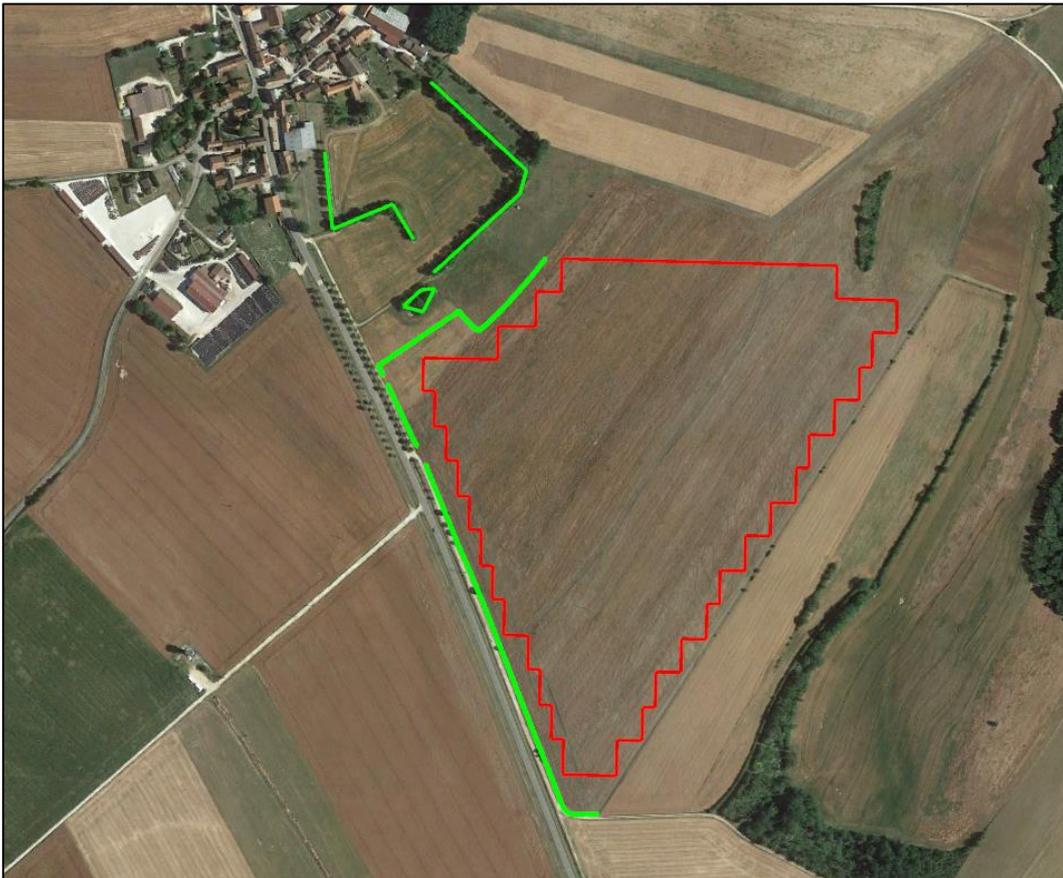
La figure suivante présente en rouge l’emprise au sol des modules photovoltaïques avec la localisation de la départementale (en jaune).



### 3.2. PRESENTATION DES ELEMENTS MODELISES

#### LE GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE

La figure suivante présente en rouge la modélisation du générateur à partir d'un unique polygone ainsi que la végétation modélisée dans l'étude permettant de supprimer certains cas d'éblouissement. Ces arbres déjà existants ou plantés lors du chantier (en vert dans la figure ci-dessous) ont été modélisés avec en hypothèse une hauteur de 5 m.

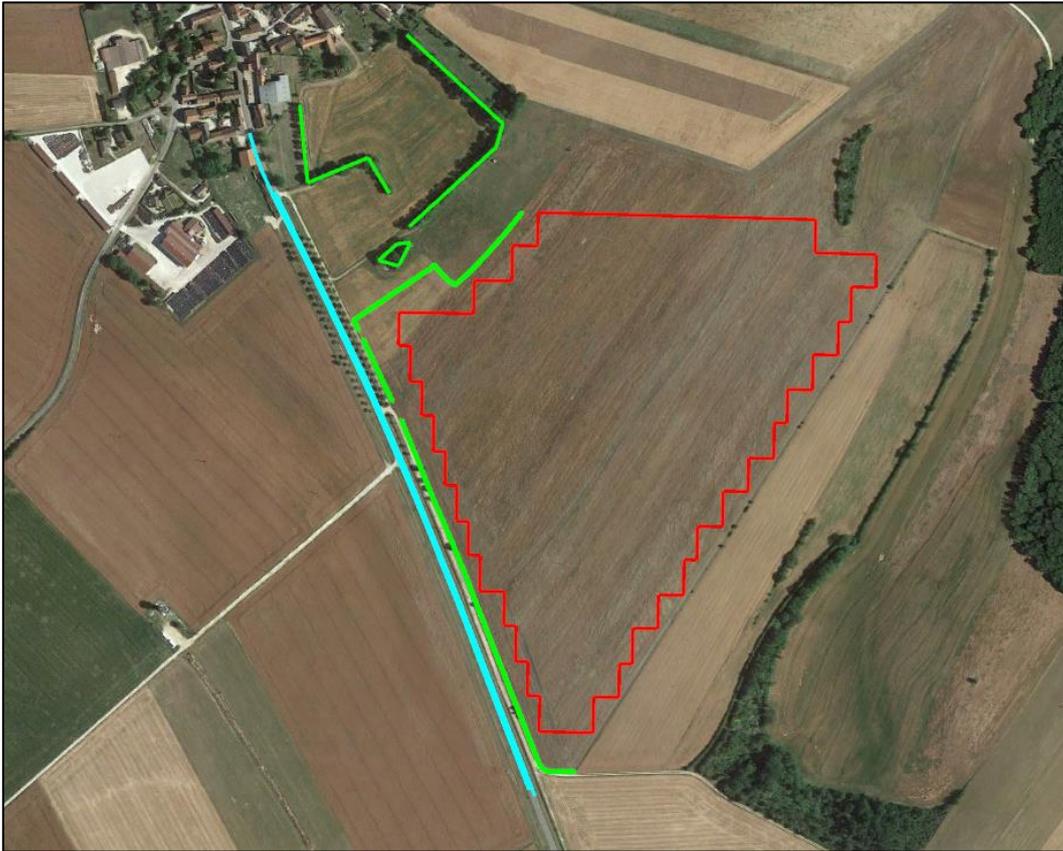


La figure suivante présente une vue Google Street des arbres déjà existants.

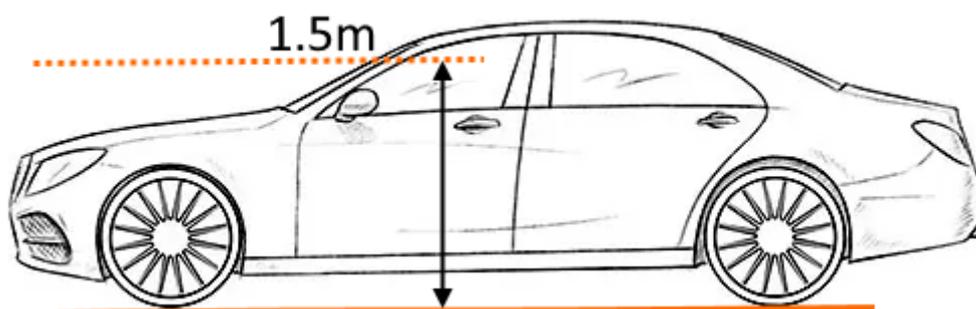


## LA TRAJECTOIRE DES VEHICULES

La figure suivante présente en cyan la trajectoire considérée dans cette étude.

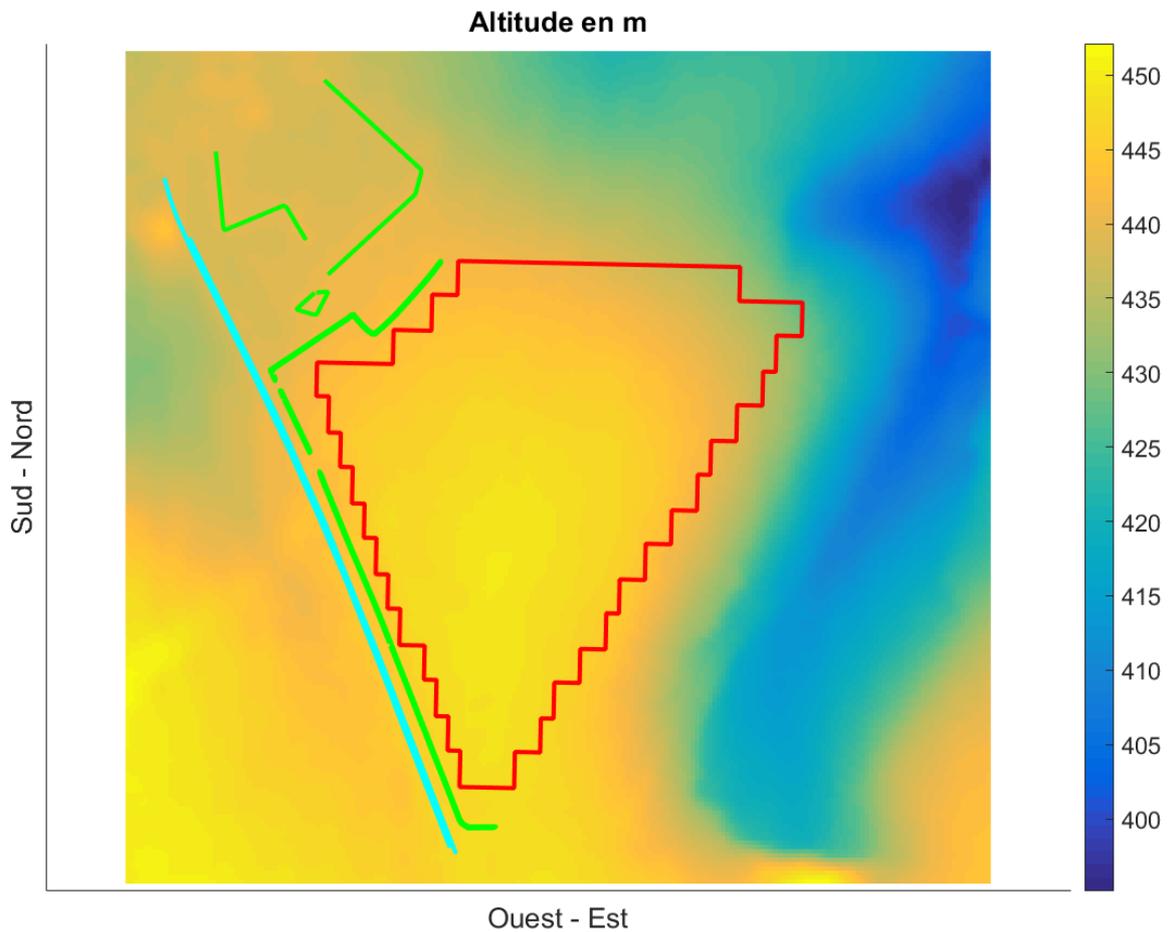


Une hauteur de 1,5 m au-dessus du sol a été considérée afin de prendre en compte les conducteurs des voitures sur la départementale.



## LA TOPOGRAPHIE

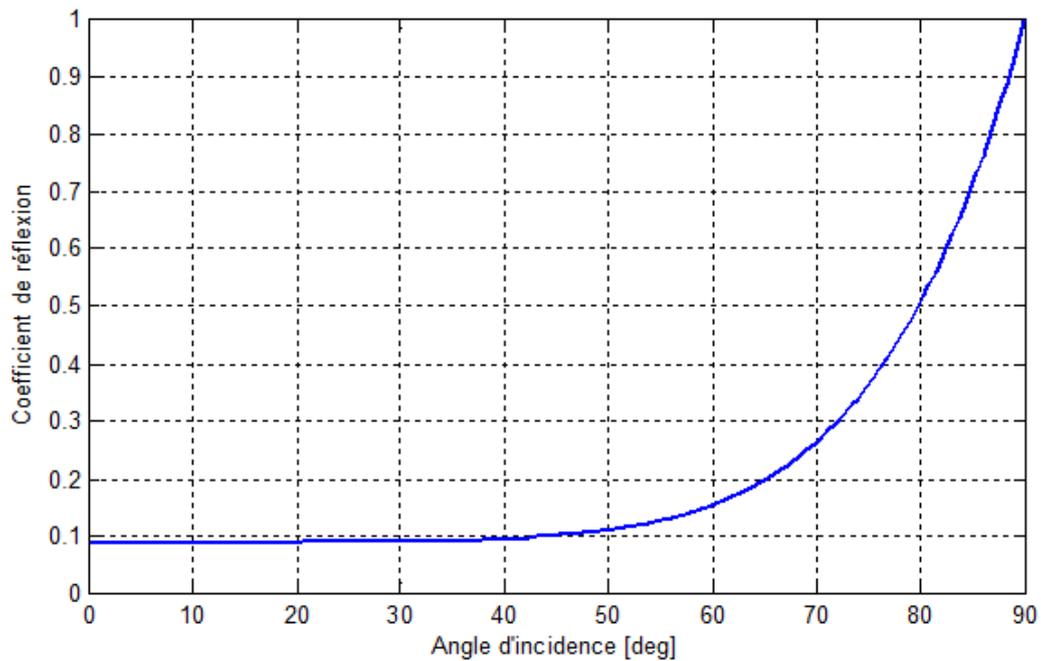
Un modèle numérique de terrain avec une maille de 10 m a été utilisé pour cette étude. Le générateur est représenté en rouge, les trajectoires des automobiles en cyan et les masques végétaux en vert. Le dégradé de couleur correspond à l'altitude du terrain en mètres.



## LES MODULES

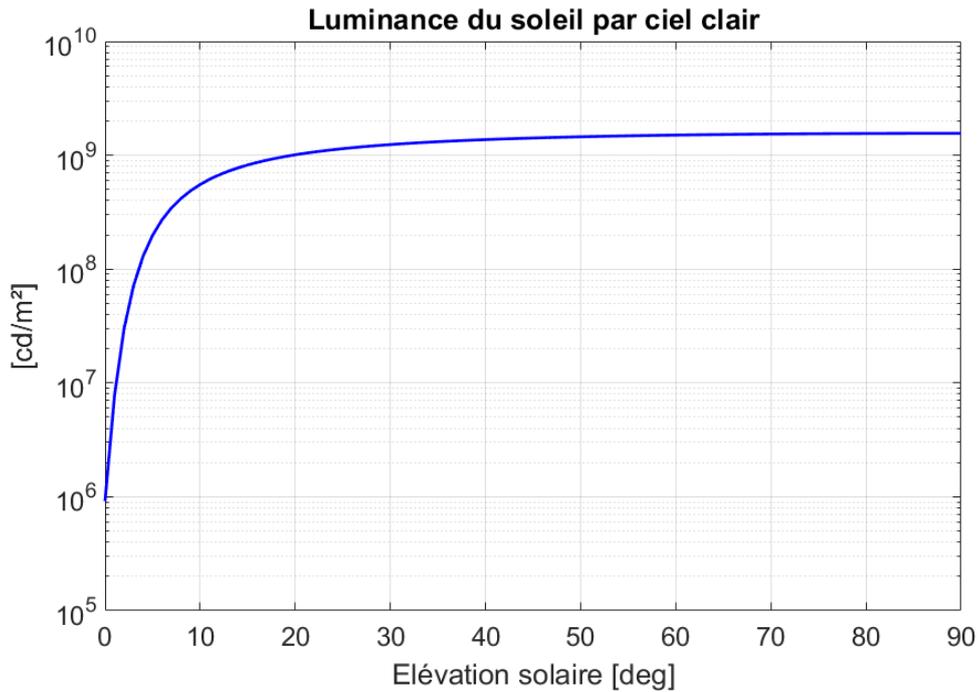
Les modules concernés utilisent une couche en verre susceptible de provoquer des cas d'éblouissement suivant l'angle d'incidence. Il convient donc d'effectuer une analyse fine des cas potentiels d'éblouissement.

En l'absence d'un profil spécifique fourni par le client, un profil standard de coefficient de réflexion a été retenu pour cette étude ; il est représenté à la figure suivante.



LA LUMINANCE DU SOLEIL

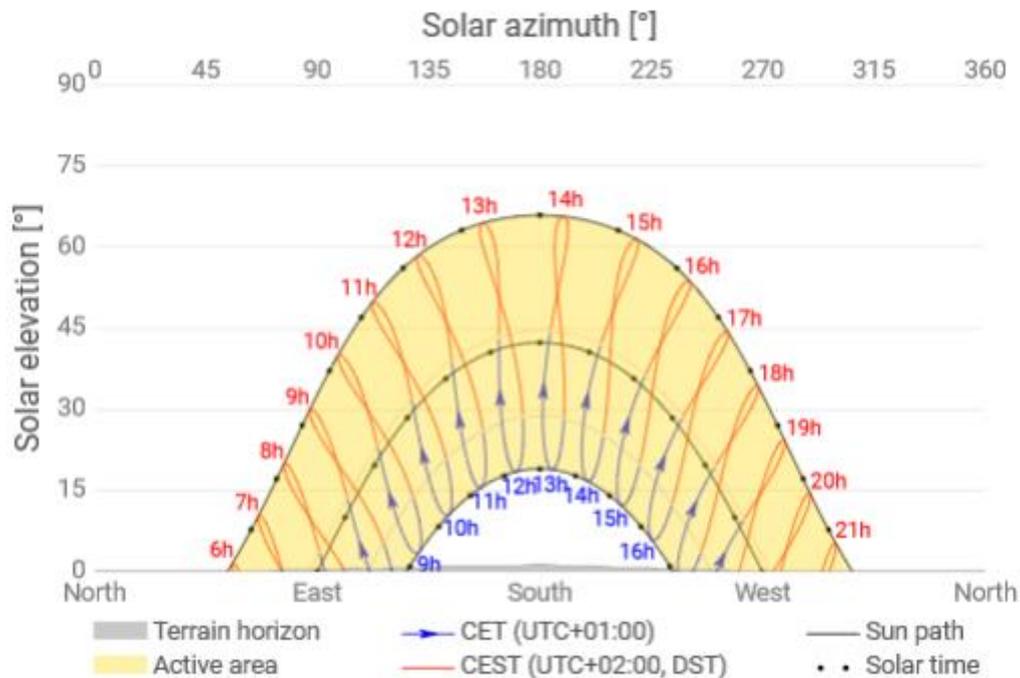
La figure suivante présente le profil de luminance (en candéla par m<sup>2</sup>, cd/m<sup>2</sup>) des rayons direct du soleil avec une hypothèse de ciel parfaitement clair, et ce en fonction de l’élévation du soleil. Il est à noter que la luminance est d’environ 900 000 cd/m<sup>2</sup> au lever du soleil et culmine à 1,6 milliards de cd/m<sup>2</sup> lorsque le soleil est au zénith.



## LA COURSE DU SOLEIL

La figure suivante présente pour le site étudié la course du soleil tout au long de l'année, le solstice d'été (21 juin) étant la courbe supérieure et le solstice d'hiver (21 décembre) la courbe inférieure :

- L'axe des abscisses représente l'azimut du soleil, 0° signifiant le Sud et +90° l'Ouest ;
- L'axe des ordonnées représente l'élévation du soleil en degré ;
- L'heure indiquée correspond à l'heure d'été en Europe centrale (CEST *i.e.* UTC+2).



Il est à noter que le relief lointain observé à l'emplacement de l'installation photovoltaïque est négligeable.

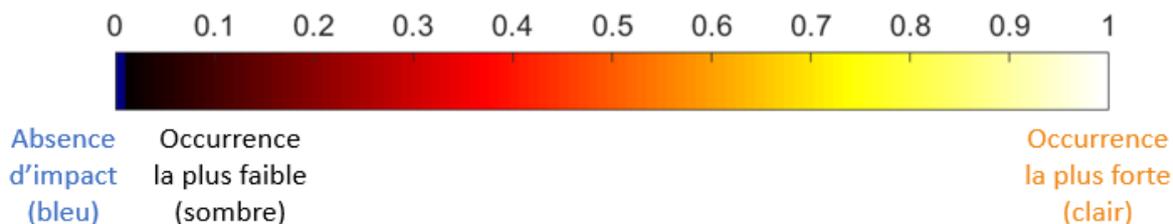
## 4. ANALYSE

Cette section présente les résultats des simulations effectuées à partir des entrées présentées précédemment ainsi que de l'hypothèse d'un ciel parfaitement clair, i.e. d'une couverture nuageuse nulle.

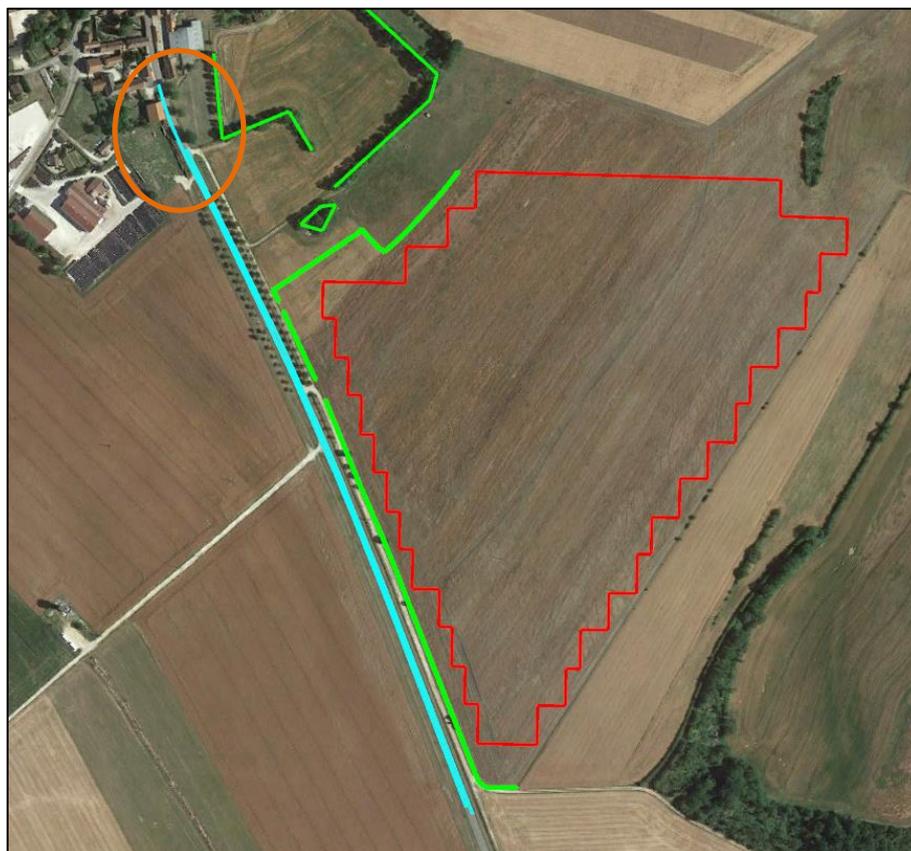
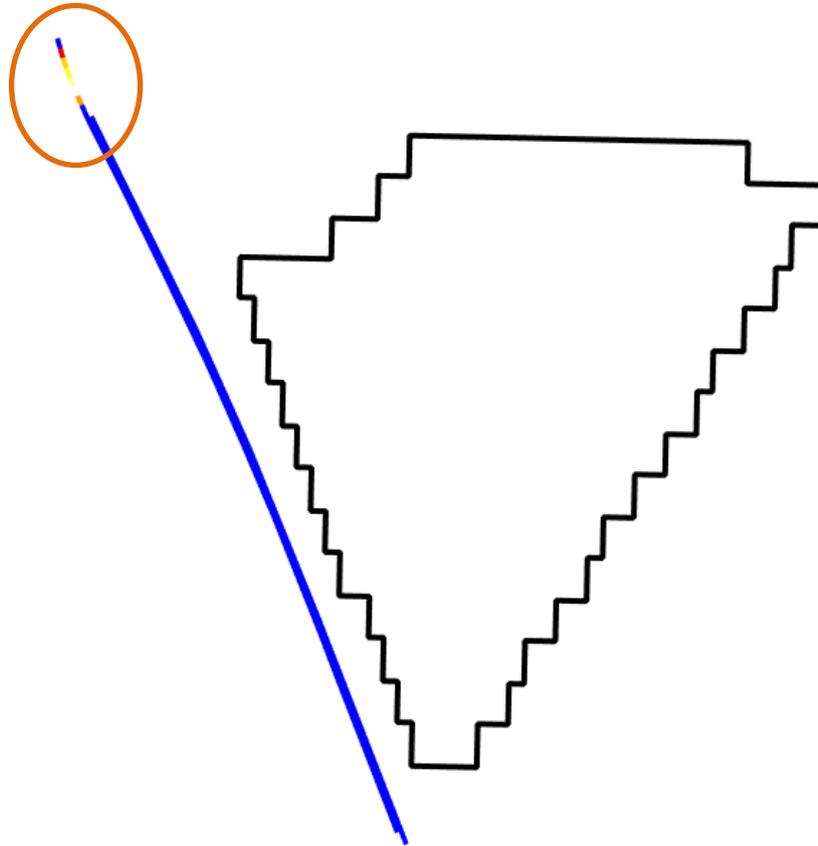
Pour chaque simulation, quatre visuels permettent de caractériser les rayons réfléchis pouvant générer de l'éblouissement :

- Localisation des trajectoires impactées par des rayons réfléchis ;
- Localisation des zones du générateur photovoltaïque générant ces rayons réfléchis ;
- Datation dans l'année des impacts identifiés ;
- Localisation des rayons réfléchis dans le champ de vue des automobilistes.

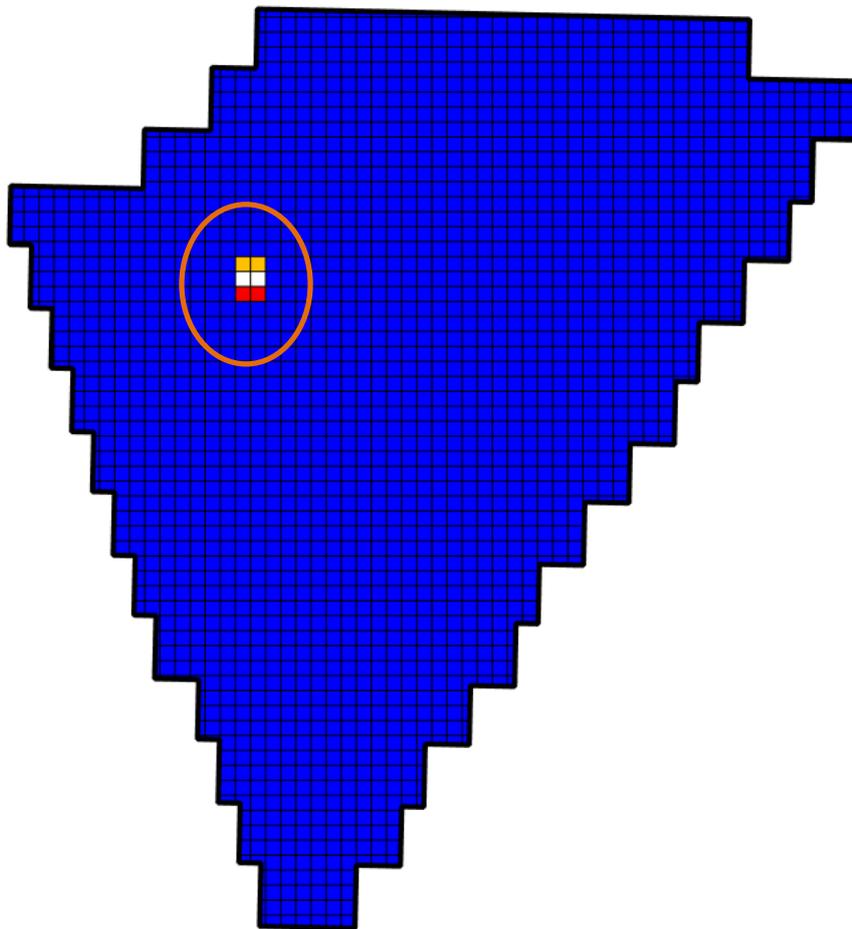
Un même code couleur est utilisé pour chaque visuel : plus la couleur est claire, plus l'occurrence des impacts est élevée, l'occurrence étant définie comme le nombre d'impacts identifiés par la simulation. Une occurrence nulle (i.e. absence d'impact) est indiquée en bleu.



Les figures suivantes identifient pour les automobiles venant depuis le Nord ou le Sud les zones de la trajectoire qui seront impactées par des rayons réfléchis (sont exclus les rayons réfléchis survenant dans le dos des automobilistes), *i.e.* le tout début de la trajectoire depuis le Nord, au sortir du village.



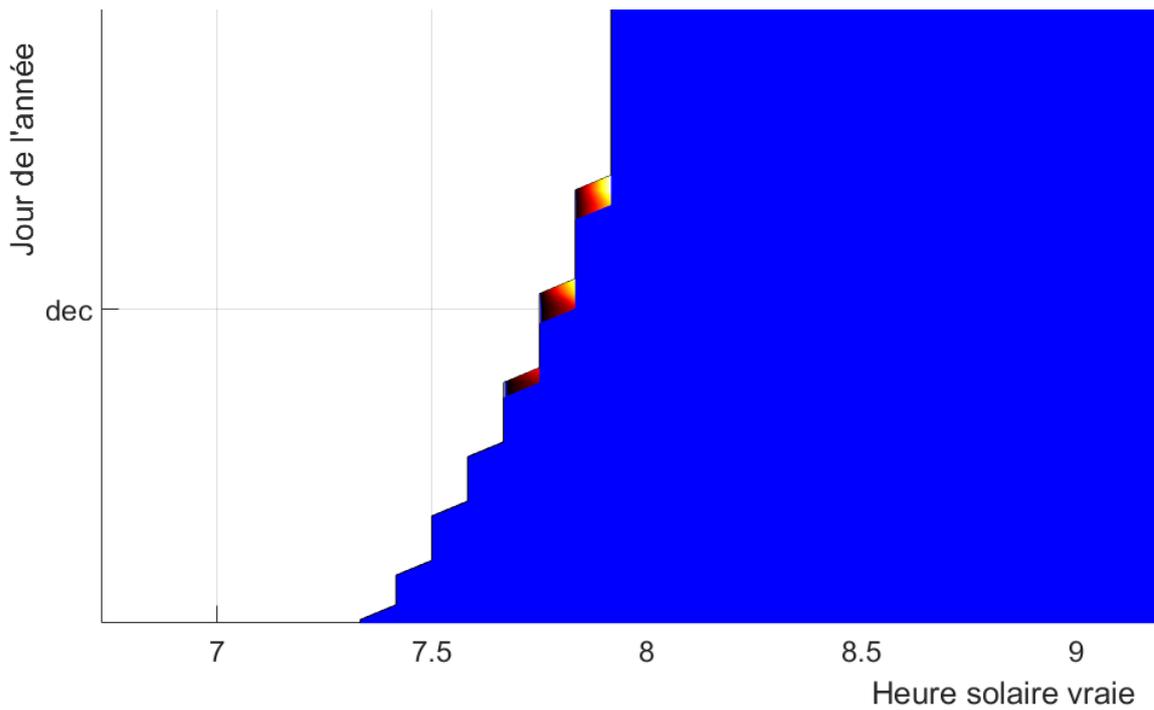
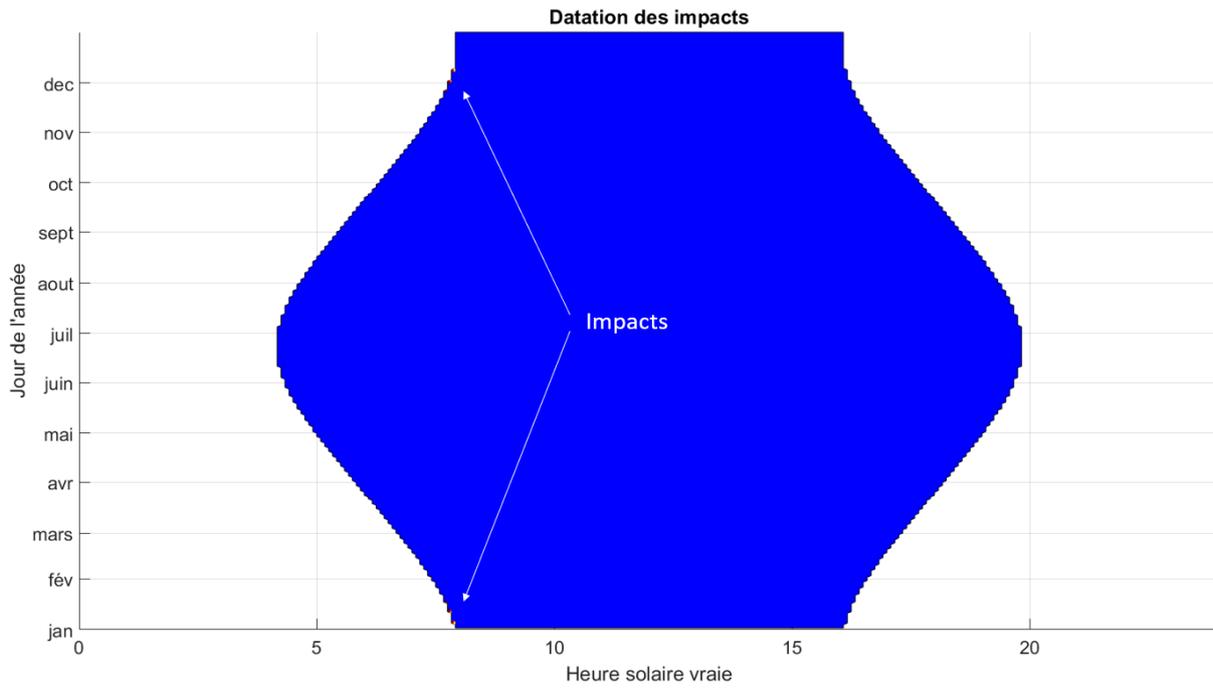
La figure suivante identifie les zones du générateur photovoltaïque qui vont générer ces rayons réfléchis. L'analyse montre que moins de 1 % de la surface est à l'origine de ces impacts.



La figure suivante présente tout au long de l'année la datation des impacts identifiés :

- En abscisse, l'heure solaire vraie (soleil au zénith à midi) ;
- En ordonnée, le jour de l'année ;
- Le relief lointain en gris ;
- Plus la couleur est claire, plus le risque d'éblouissement est élevé. Un risque nul est indiqué en bleu.

Les bords de la zone bleue correspondent aux lever et coucher du soleil, la forme rebondie traduisant le fait que la durée du jour est plus longue en été qu'en hiver.

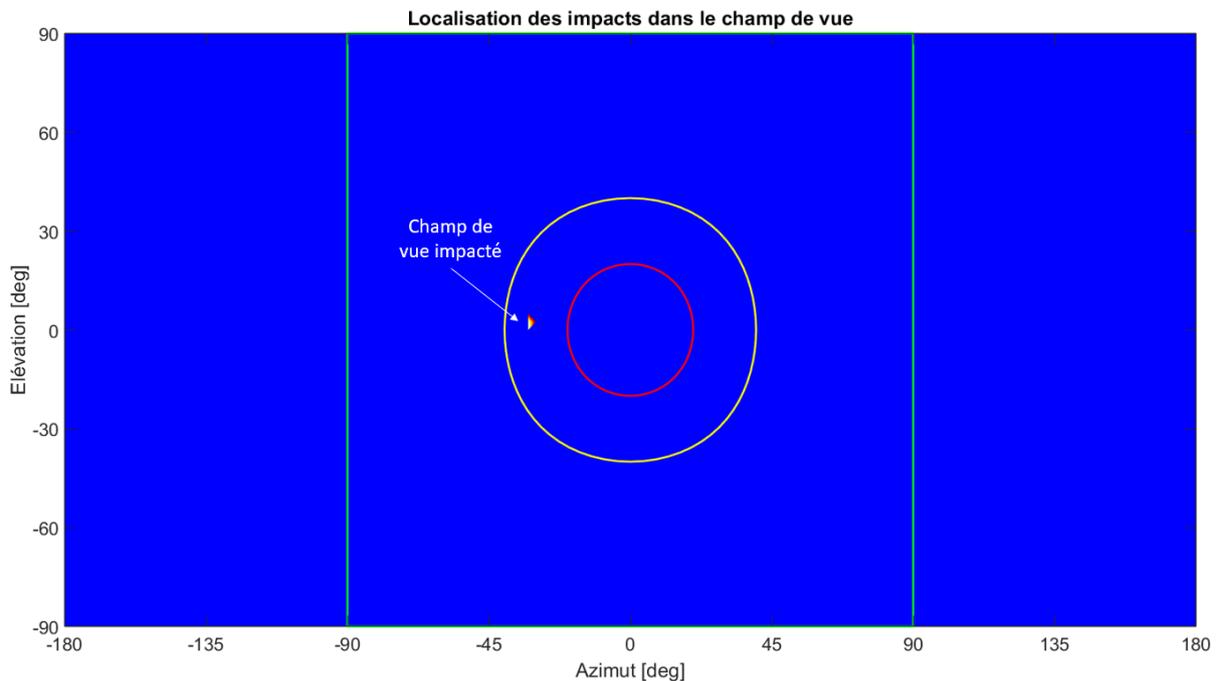
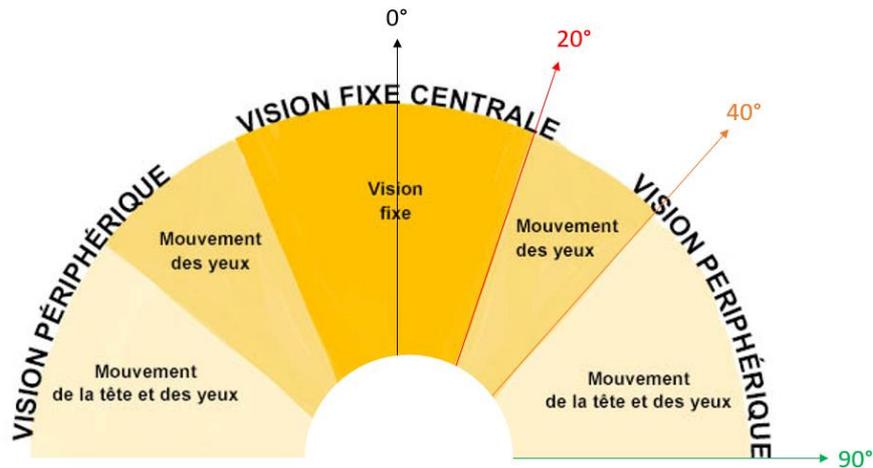


*L'analyse montre que les rares rayons réfléchis surviennent au lever du soleil, en décembre et janvier, sur une durée journalière inférieure à 5 minutes.*

La figure suivante présente la localisation des rayons réfléchis dans le champ de vue des automobilistes :

- Le centre de la figure correspond au regard dans l’axe de la trajectoire ;
- L’axe des abscisses correspond à l’angle de la vision latérale (vers la gauche ou vers la droite par rapport à la trajectoire) ;
- L’axe des ordonnées correspond à l’angle d’élévation du regard (vers le haut ou vers le bas).

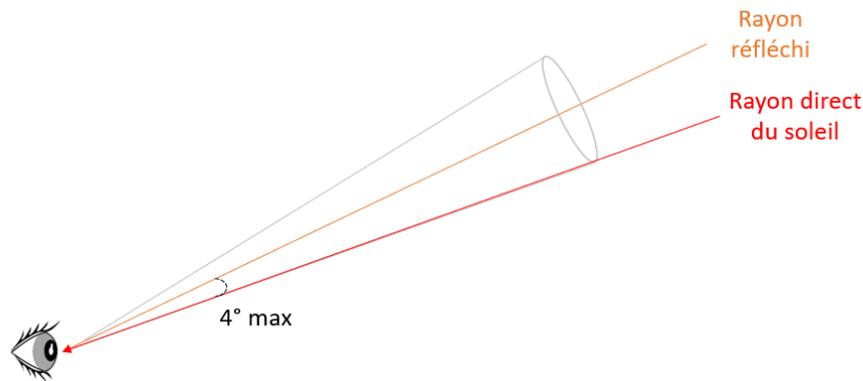
Les cercles rouge et jaune correspondent respectivement aux angles de 20° et 40° délimitant la vision fixe centrale et la vision périphérique tandis que le rectangle vert est le seuil au-delà duquel les rayons réfléchis surviennent dans le dos du conducteur.



*L’analyse montre que pour la trajectoire depuis le Nord, les rayons réfléchis arriveront à la limite des visions centrale et périphérique des conducteurs (30-40°) ; le risque d’éblouissement est ainsi présent.*

Toutefois, il est à noter que :

- La probabilité d'occurrence de l'éblouissement est très faible dans la mesure où :
  - La durée est limitée dans l'année (décembre et janvier) et dans la journée avec des impacts survenant pendant un laps de temps inférieur à 5 minutes (i.e. la largeur maximale de la bande verticale présente dans la figure « *datation des impacts* ») au regard d'une journée de durée supérieure à 12 heures ;
  - L'analyse a été réalisée avec des conditions de ciel parfaitement clair, ce qui est bien entendu loin d'être toujours le cas.
- La sévérité de l'éblouissement est très faible dans la mesure où :
  - L'éblouissement est généré par un nombre très limité de tables PV si bien que la durée d'éblouissement sera très faible ;
  - L'angle entre les rayons réfléchis et les rayons directs du soleil est systématiquement inférieur à  $4^\circ$  si bien qu'aujourd'hui, en l'absence de générateur PV et pour ces mêmes instants, les automobilistes sont déjà éblouis par le soleil.



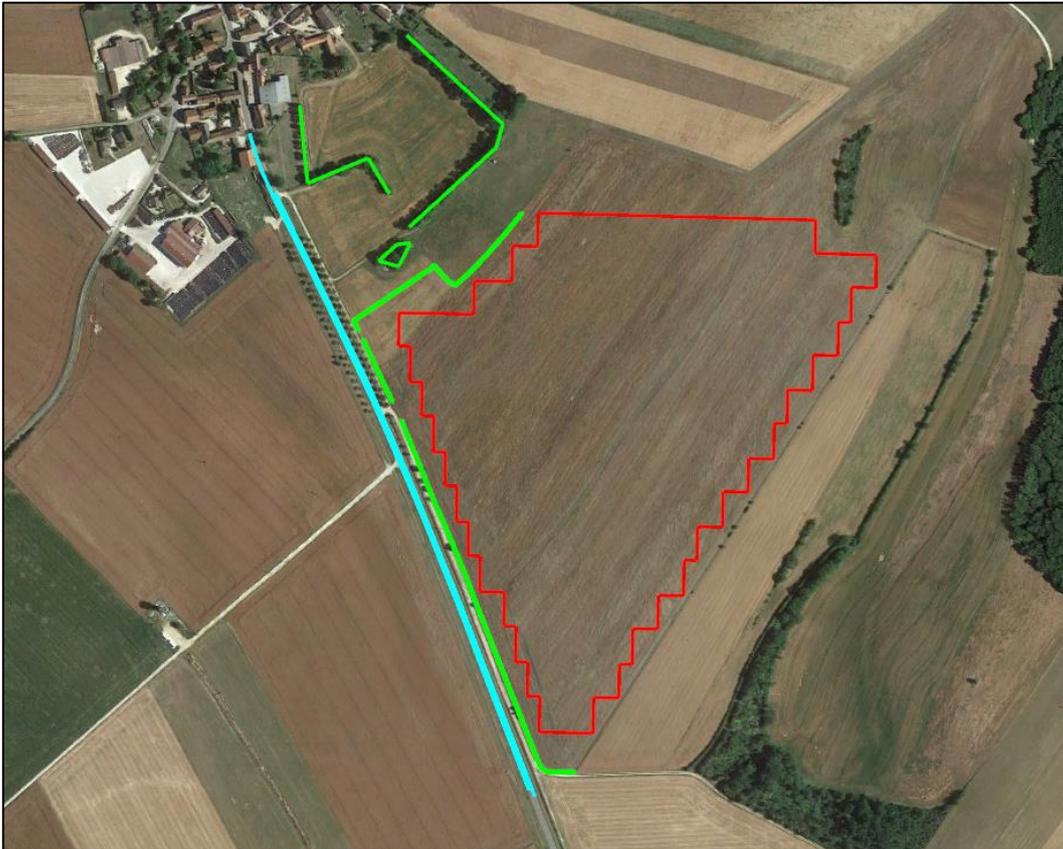
SYNTHESE DU CAS ETUDIE	
Conclusion	<b>Risque d'éblouissement</b> <b>Probabilité et sévérité très faibles</b>
Période	En décembre et janvier
Heure solaire vraie	Au lever du soleil
Durée journalière	< 5 minutes
Élévation solaire	< 0,5°
Angle trajectoire / rayons	[ 30 – 40° ]
Angle entre rayons réfléchis et rayons directs du Soleil	< 4°
Tronçon impacté	Les véhicules circulant depuis le Nord, au sortir du village
Angle de tracking	< 1,6°

Il est également à noter que bloquer l'angle de rotation à 2° au lever du soleil, pour les occurrences identifiées, permet de supprimer complètement le risque d'éblouissement.

## 5. CONCLUSION

La figure suivante présente :

- En rouge l'emprise au sol du générateur ;
- En bleu la trajectoire des véhicules avec une hauteur de 1,5 m pour les conducteurs ;
- En vert les masques végétaux avec en hypothèse une hauteur de 5 m.



L'étude de réverbération montre que le générateur PV va générer de très rares occurrences d'éblouissement :

- Pour les automobilistes circulant depuis le Nord, au sortir du village ;
- En limite de leurs visions centrale et périphérique ;
- En décembre et janvier ;
- Au lever du soleil, sur une durée journalière inférieure à 5 minutes.

Toutefois, il est à noter que :

- La probabilité d'occurrence de l'éblouissement est très faible dans la mesure où :
  - La durée est limitée dans l'année (décembre et janvier) et dans la journée avec des impacts survenant pendant un laps de temps inférieur à 5 minutes au regard d'une journée de durée supérieure à 12 heures ;
  - L'analyse a été réalisée avec des conditions de ciel parfaitement clair, ce qui est bien entendu loin d'être toujours le cas.
  
- La sévérité de l'éblouissement est très faible dans la mesure où :
  - L'éblouissement est généré par un nombre très limité de tables PV si bien que la durée d'éblouissement sera très faible ;
  - L'angle entre les rayons réfléchis et les rayons directs du soleil est systématiquement inférieur à 4° si bien qu'aujourd'hui, en l'absence de générateur PV et pour ces mêmes instants, les automobilistes sont déjà éblouis par le soleil.
  
- Bloquer l'angle de rotation à 2° au lever du soleil, pour les occurrences identifiées, permet de supprimer complètement le risque d'éblouissement.