



55, allée Pierre Ziller  
06 560 Sophia Antipolis

## Etude de Réverbération

### Projet Photovoltaïque de Saint-Pierre-la-Cour - Hameaux -



SPV de la Lande du Maine

8 septembre 2021 – version 3

# 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 .....	6
	LE GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE .....	6
	LA TOPOGRAPHIE .....	7
	LES RAYONS DU SOLEIL .....	8
	LES MODULES .....	9
4.	ANALYSE 3D .....	10
4.1.	MODULES ORIENTES SUD .....	11
4.2.	MODULES ORIENTES OUEST .....	12
4.3.	MODULES ORIENTES EST .....	13
5.	ANALYSE FINE .....	14
5.1.	MODULES ORIENTES SUD .....	15
5.2.	MODULES ORIENTES OUEST .....	19
6.	CONCLUSIONS .....	22

## 2. PRESENTATION GENERALE

### 2.1. PRESENTATION DU DOCUMENT

Ce document présente l'étude de réverbération du projet photovoltaïque de la société SPV LA LANDE DU MAINE localisé à Saint-Pierre-la-Cour (Mayenne), à proximité des hameaux de la Touche et de la Grande Roche. L'objectif de cette étude est d'identifier les régions de l'espace concernées par la réflexion 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

## SPV de la Lande du Maine

4, allée des Terrasses  
78 230 Le Pecq

#### Contact :

Mme Sandrine VASSEUR – [s.vasseur@impulsion-innovation.org](mailto:s.vasseur@impulsion-innovation.org)

#### 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

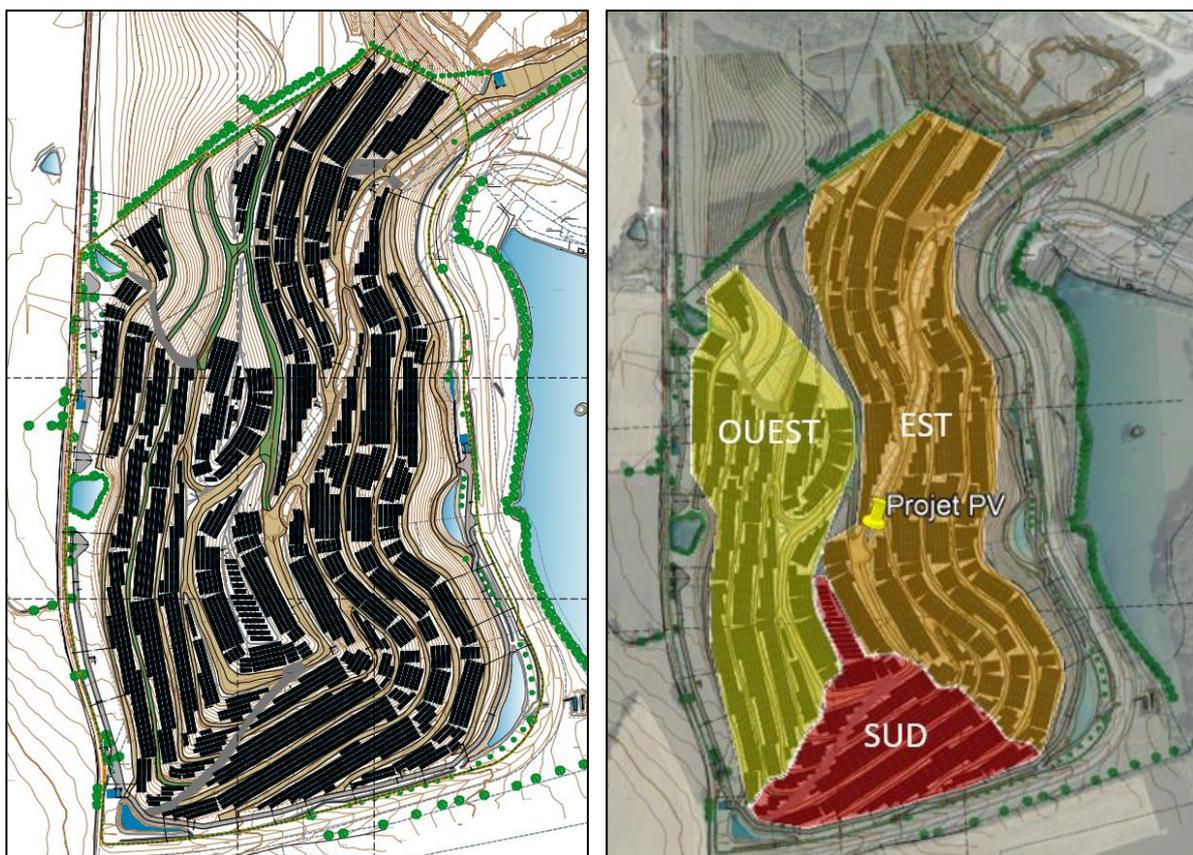
#### 3.1. PRESENTATION DU PROJET

Le projet de la société SPV LA LANDE DU MAINE consiste à réaliser une centrale photovoltaïque au sol à Saint-Pierre-la-Cour (Mayenne), à proximité des hameaux de la Touche et de la Grande Roche.

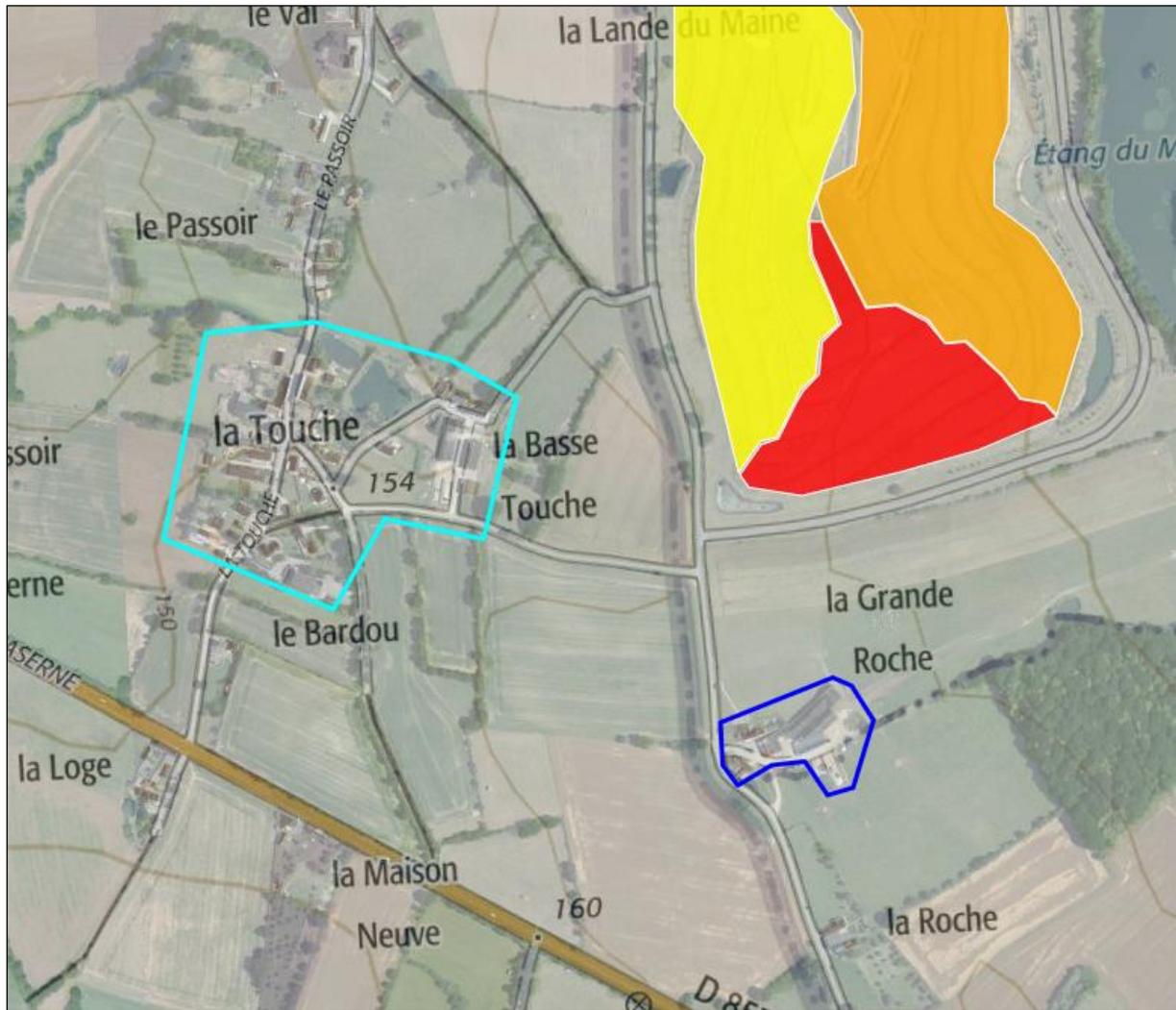
Intitulé	Latitude	Longitude
Centrale au sol fixe	48,095569°	-1,047611°

La figure suivante présente l'implantation des tables PV qui peuvent être regroupées en trois zones :

- Modules orientés EST (azimut 90°) et inclinés à 10° ;
- Modules orientés OUEST (azimut 270°) et inclinés à 10° ;
- Modules orientés SUD (azimut 180°) et inclinés à 15°.



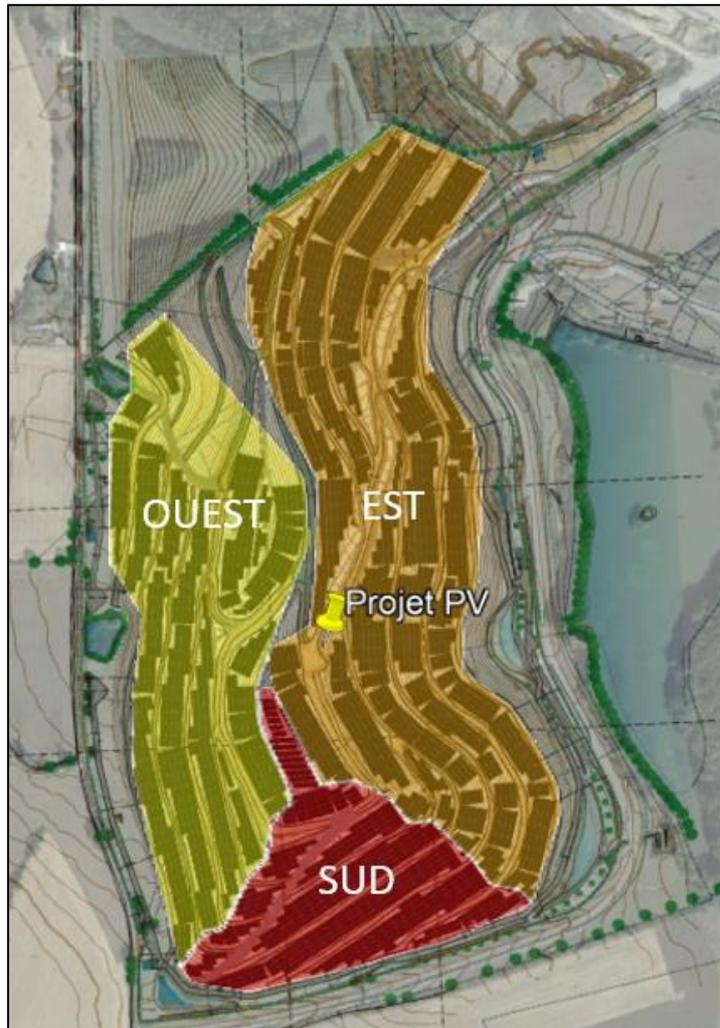
La figure suivante présente en cyan et bleu la localisation des hameaux de la Touche et de la Grande Roche pour lesquels le risque d'éblouissement a été étudié.



### 3.2. PRESENTATION DES ELEMENTS MODELISES

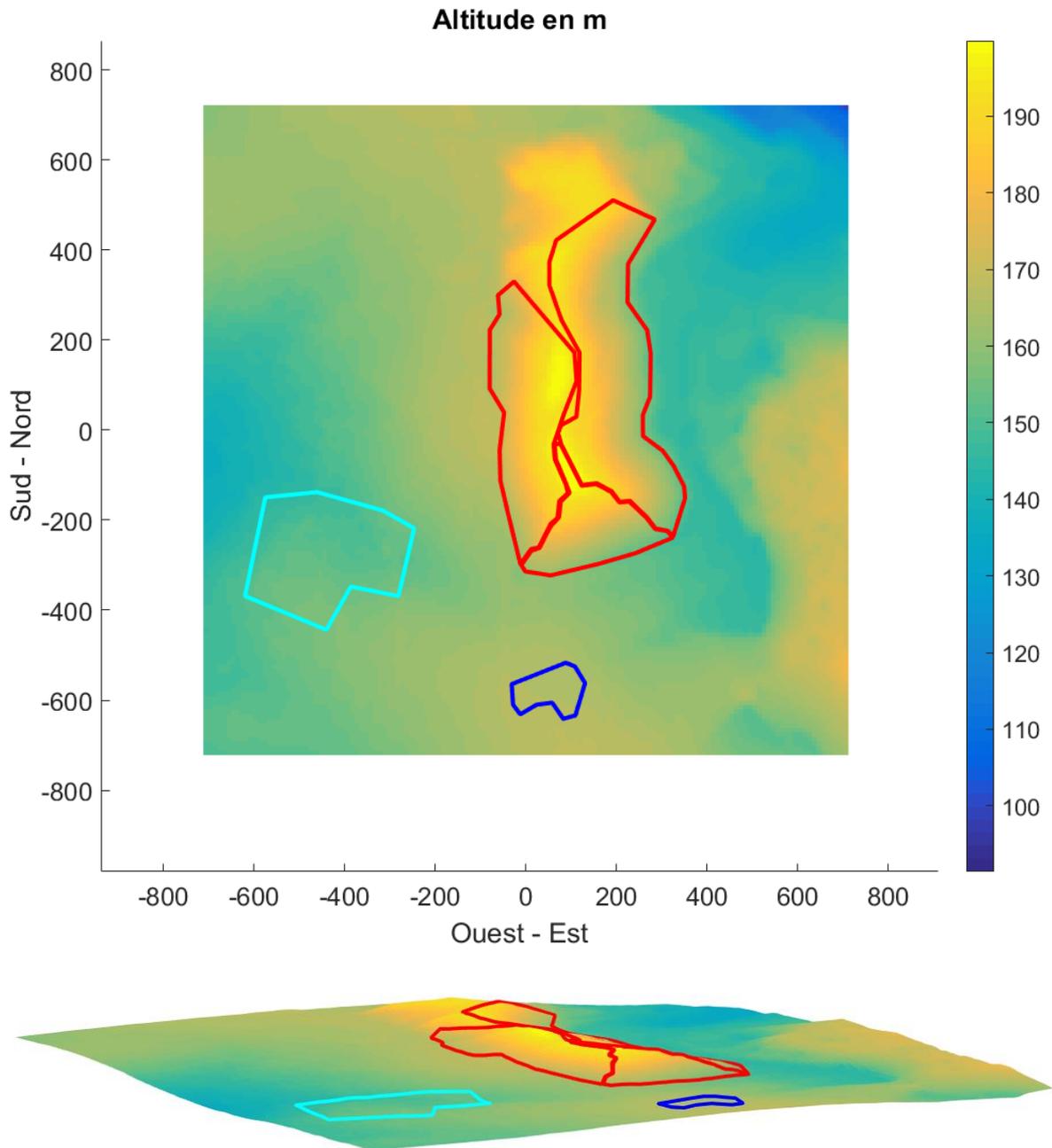
#### LE GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE

La figure suivante présente la modélisation du générateur à partir de trois polygones.



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 hameaux en cyan et bleu. Le dégradé de couleur correspond à l'altitude du terrain en mètres.

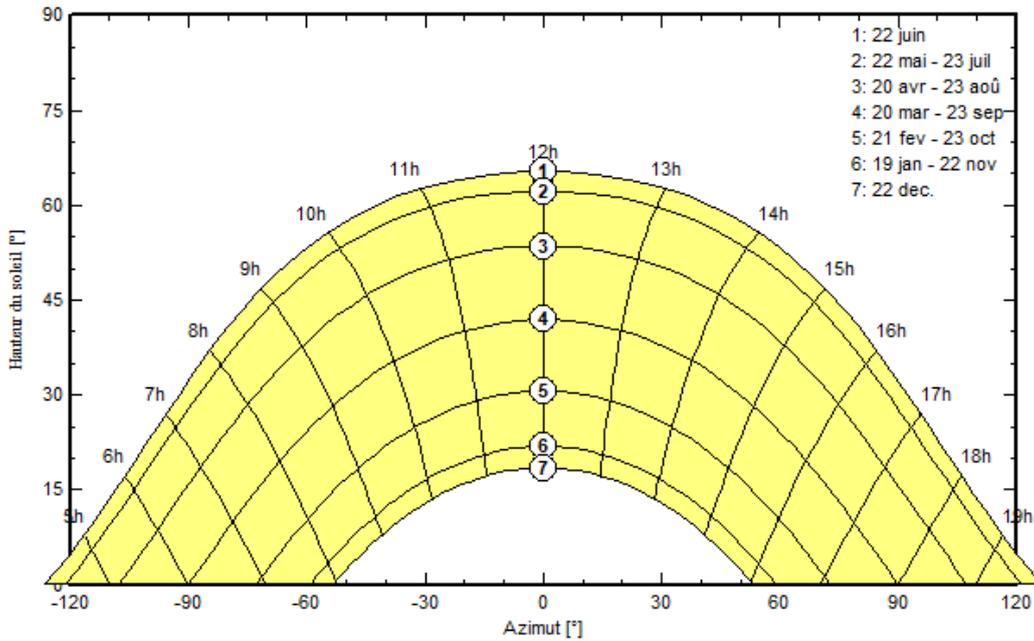


LES RAYONS DU SOLEIL

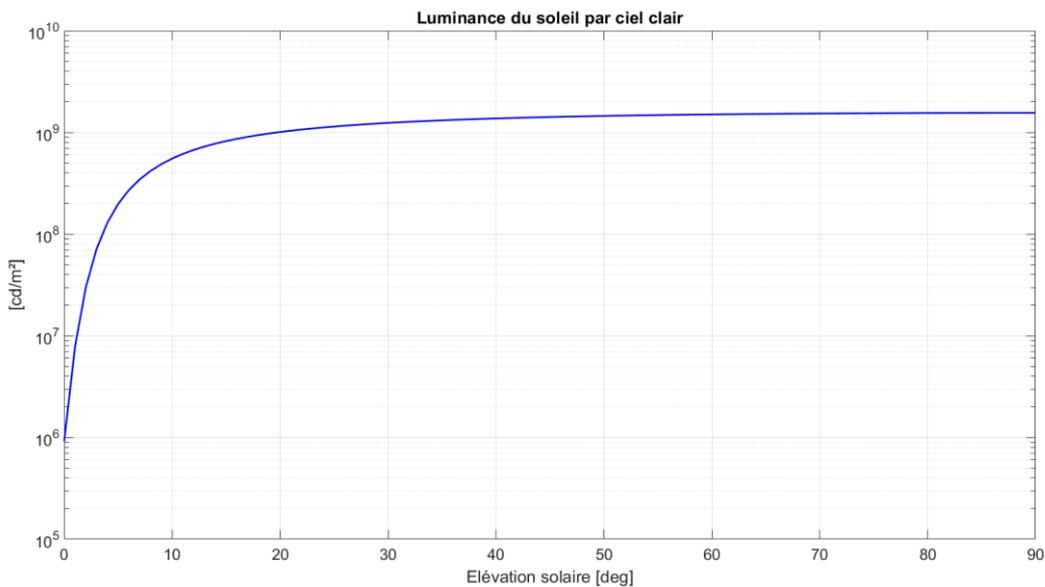
La figure suivante présente pour le site étudié la course du soleil tout au long de l’année, le solstice d’été (22 juin) étant la courbe supérieure et le solstice d’hiver (22 décembre) la courbe inférieure :

- 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 solaire vraie, i.e. midi au zénith.

Trajectoire du soleil à , (Lat. 48.0945° N, long. -1.0479° W, alt. 160 m) Temps solaire



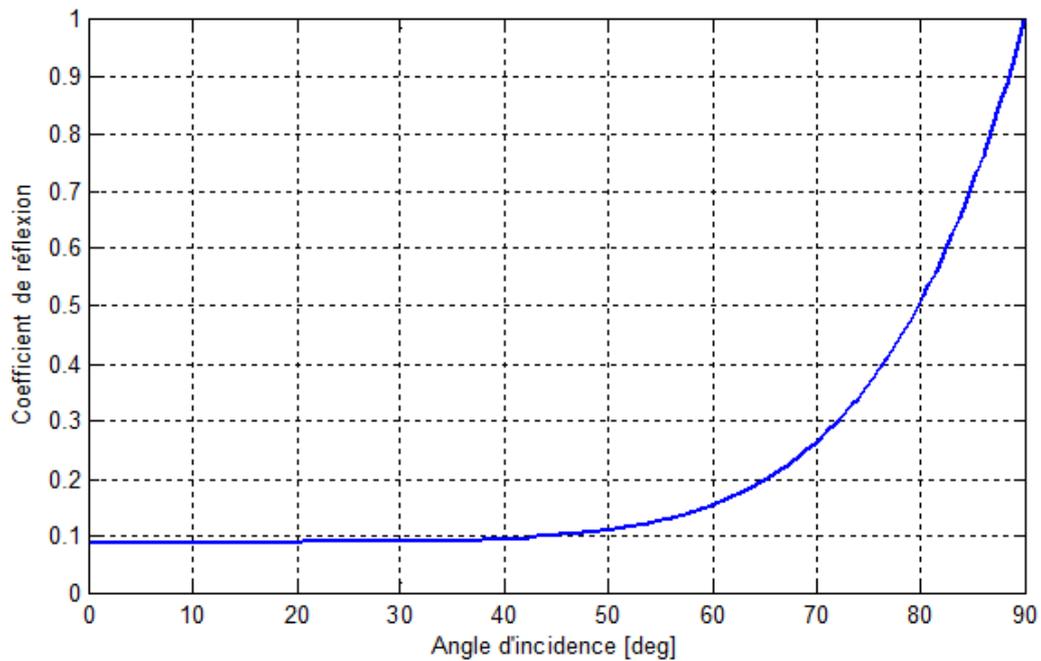
La figure suivante présente le profil de luminance du soleil, exprimée en candela par mètre carré (cd/m<sup>2</sup>), pour une hypothèse de ciel parfaitement clair. Ce profil est fonction de l’angle d’élévation solaire et est compris entre 900 000 cd/m<sup>2</sup> le matin et 1,6.10<sup>9</sup> cd/m<sup>2</sup> à midi solaire.



## 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.

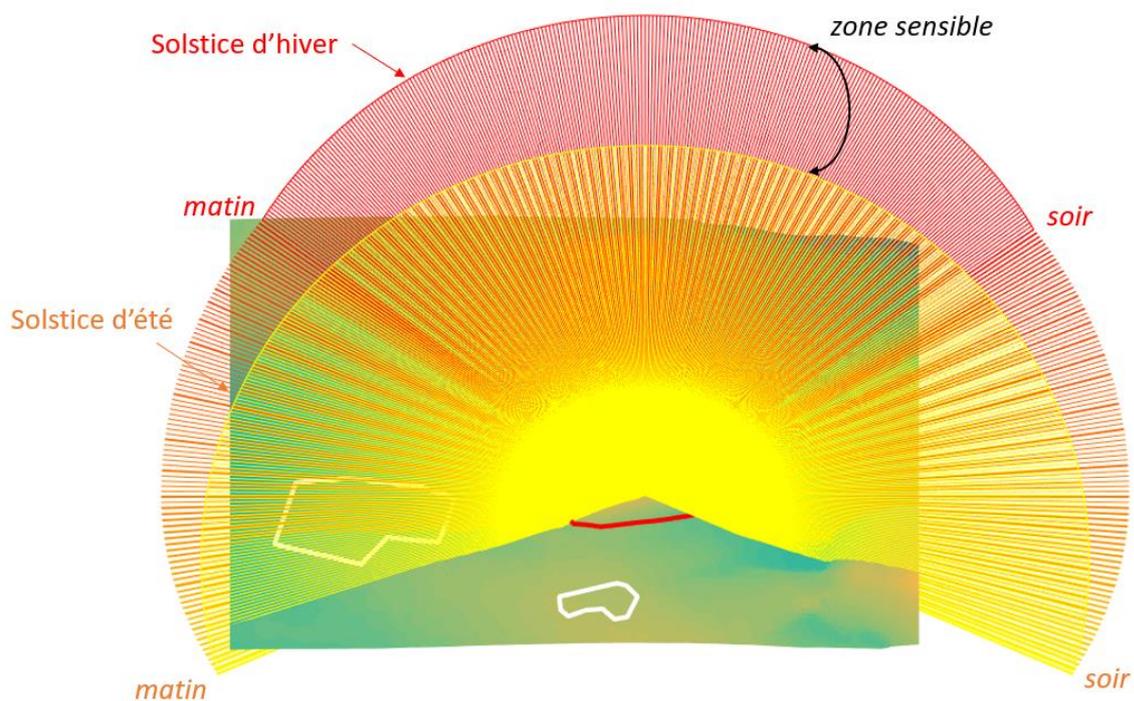
En l'absence d'un profil spécifique fourni par le client, un profil de coefficient de réflexion a été retenu pour cette étude ; il est représenté à la figure suivante et correspond à un verre standard.



#### 4. ANALYSE 3D

Une première recherche des cas critiques est effectuée à l'aide d'une visualisation 3D. Les cas sont déterminés de manière purement géométrique et prennent uniquement en considération la course du soleil tout au long de l'année et l'inclinaison des modules ; ombrages proche (masques végétaux, etc.) et lointain (relief) ne sont ainsi pas considérés à ce stade de l'analyse.

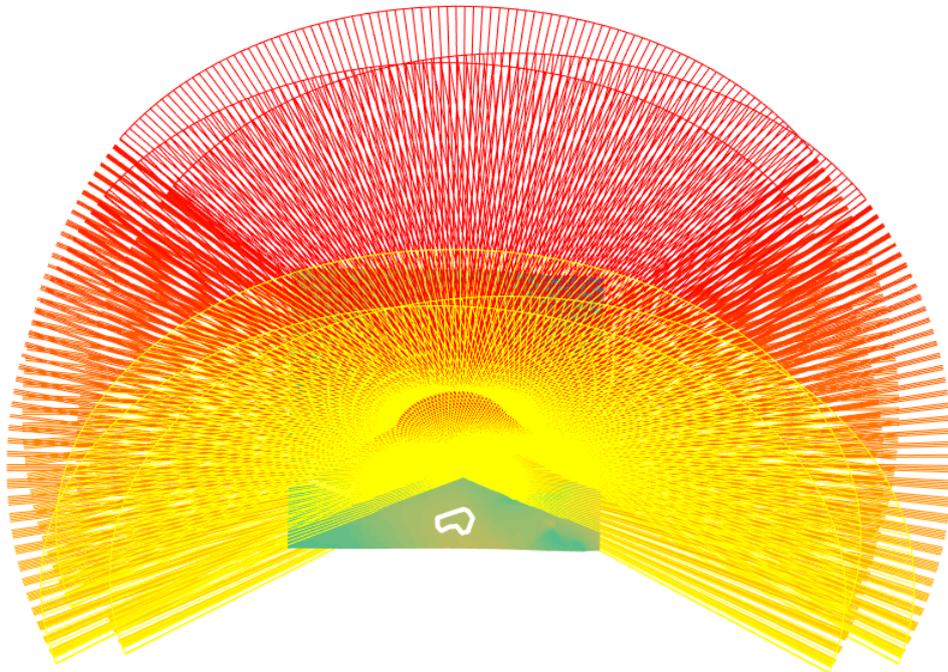
Pour une configuration de modules donnée (orientation et inclinaison) et une localisation de modules donnée, la localisation des rayons réfléchis est présentée à travers l'enveloppe des rayons réfléchis délimitée par les réflexions survenant tout au long du solstice d'été (22 juin) et du solstice d'hiver (22 décembre). Toute personne située en dehors de la zone sensible comprise entre ces enveloppes ne sera jamais soumise à des cas d'éblouissement, comme l'illustre la figure suivante pour un point central de la zone des modules orientés SUD.



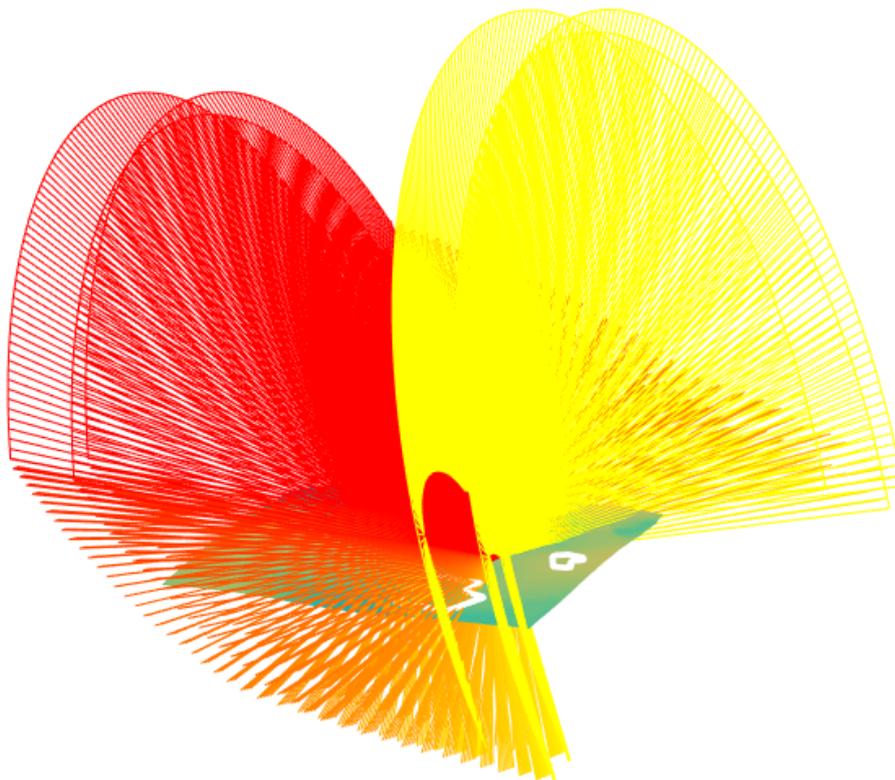
Les visuels suivants présentent le générateur en rouge, les hameaux en blanc, et les enveloppes des rayons réfléchis pour le solstice d'été (orange) et le solstice d'hiver (rouge), et ce pour un nombre représentatif de points de réflexion et pour chaque configuration de module étudiée (SUD, EST et OUEST).

#### 4.1. MODULES ORIENTES SUD

*Vue du Sud*



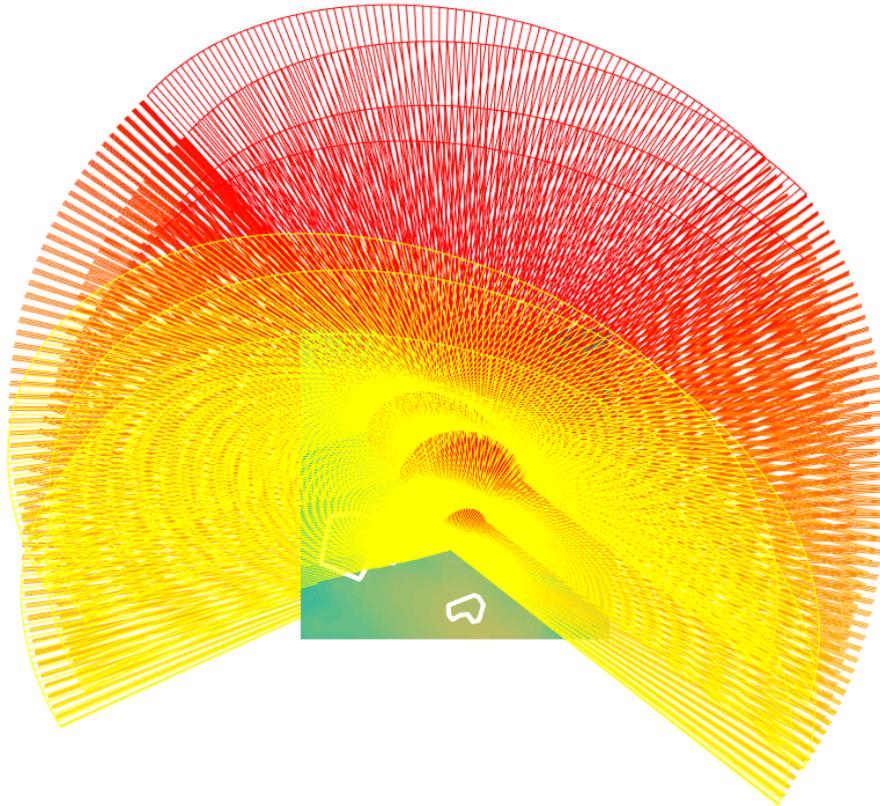
*Vue du Sud-Ouest*



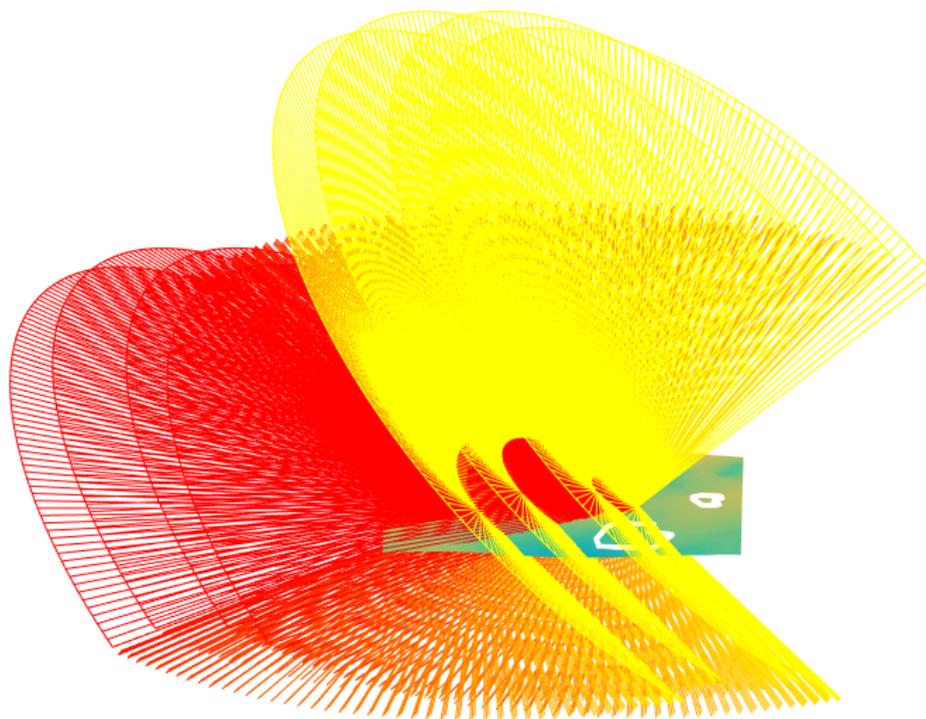
L'analyse 3D montre que le hameau de la Grande Roche ne sera jamais soumis à un risque d'éblouissement occasionné par les modules orientés SUD, contrairement au hameau de la Touche.

## 4.2. MODULES ORIENTES OUEST

*Vue du Sud*



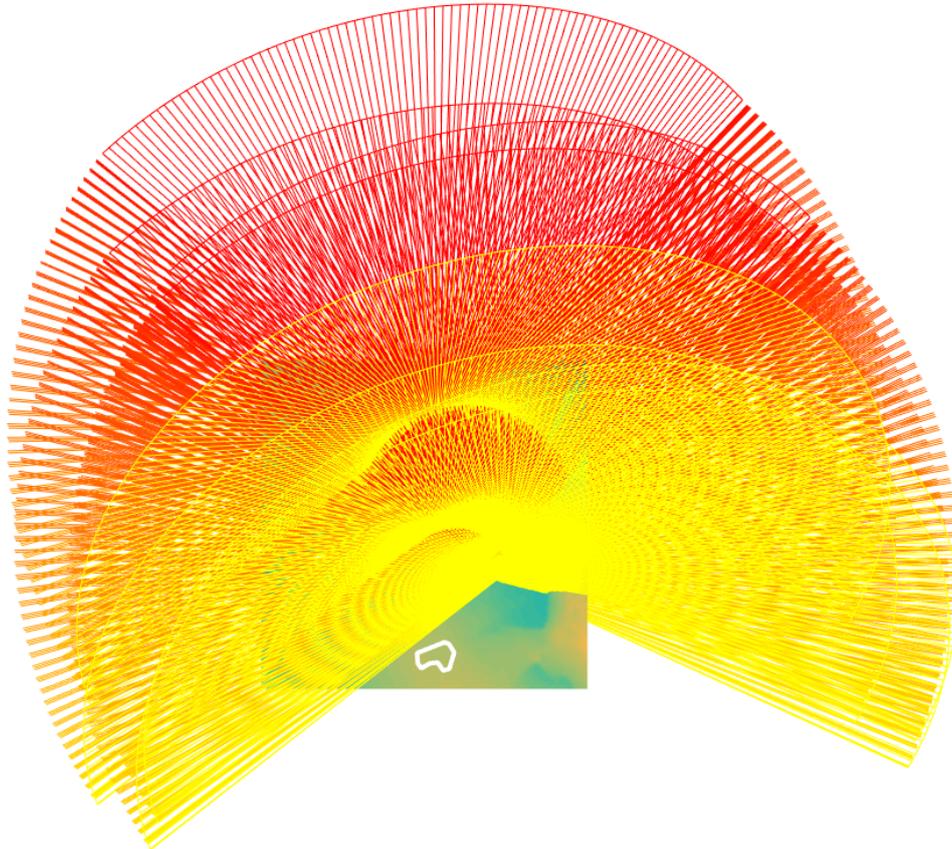
*Vue du Sud-Ouest*



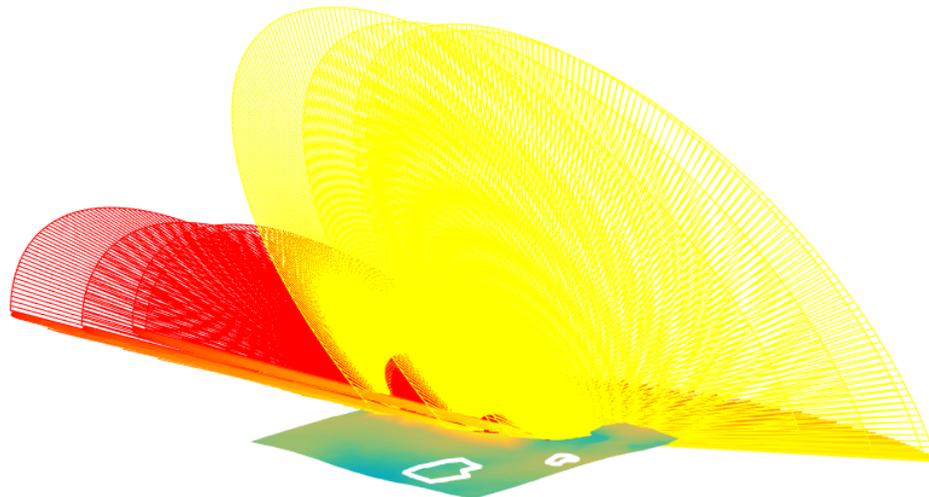
L'analyse 3D montre que le hameau de la Grande Roche ne sera jamais soumis à un risque d'éblouissement occasionné par les modules orientés OUEST, contrairement au hameau de la Touche.

### 4.3. MODULES ORIENTES EST

*Vue du Sud*



*Vue du Sud-Ouest*



L'analyse 3D montre que les hameaux de la Grande Roche et de la Touche ne seront jamais soumis à un risque d'éblouissement occasionné par les modules orientés EST.

## 5. ANALYSE FINE

Cette section présente les résultats de l’analyse fine sur une année complète, hypothèse d’un ciel parfaitement clair, i.e. d’une couverture nuageuse nulle.

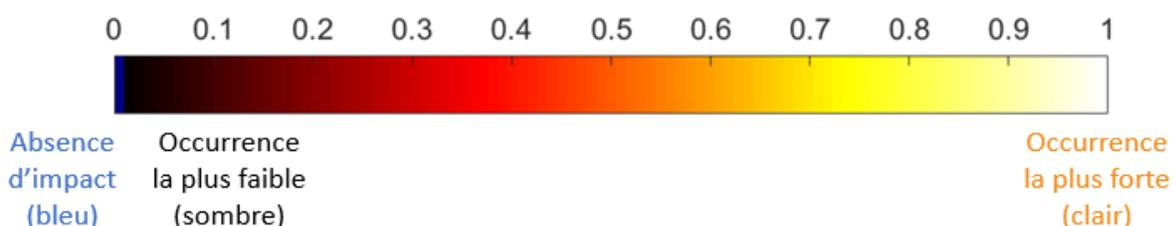
L’analyse 3D ayant montré que **le hameau de la Grande Roche n’est soumis à aucun risque d’éblouissement**, cette analyse fine concerne le seul hameau de la Touche lequel est discrétisé à partir de segments, comme le montre en blanc la figure suivante.



Pour les configurations de modules SUD et OUEST (**la configuration EST ne générant aucun risque d’éblouissement**), trois visuels permettent de caractériser les rayons réfléchis pouvant générer de l’éblouissement :

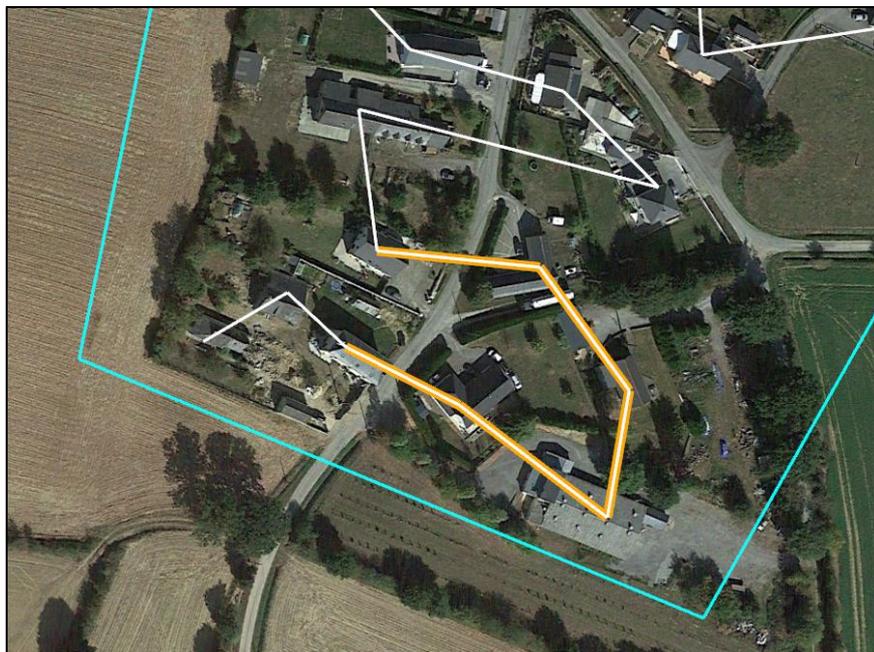
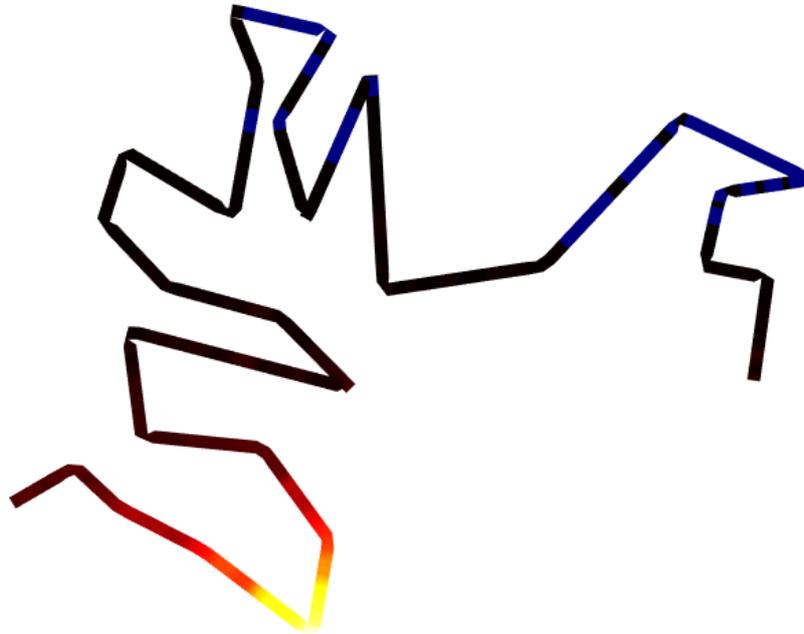
- Localisation des segments impactés par des rayons réfléchis ;
- Localisation des zones du générateur photovoltaïque générant ces rayons réfléchis ;
- Datation dans l’année des impacts identifiés.

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. La couleur ne correspond donc pas à l’intensité du rayon réfléchi.

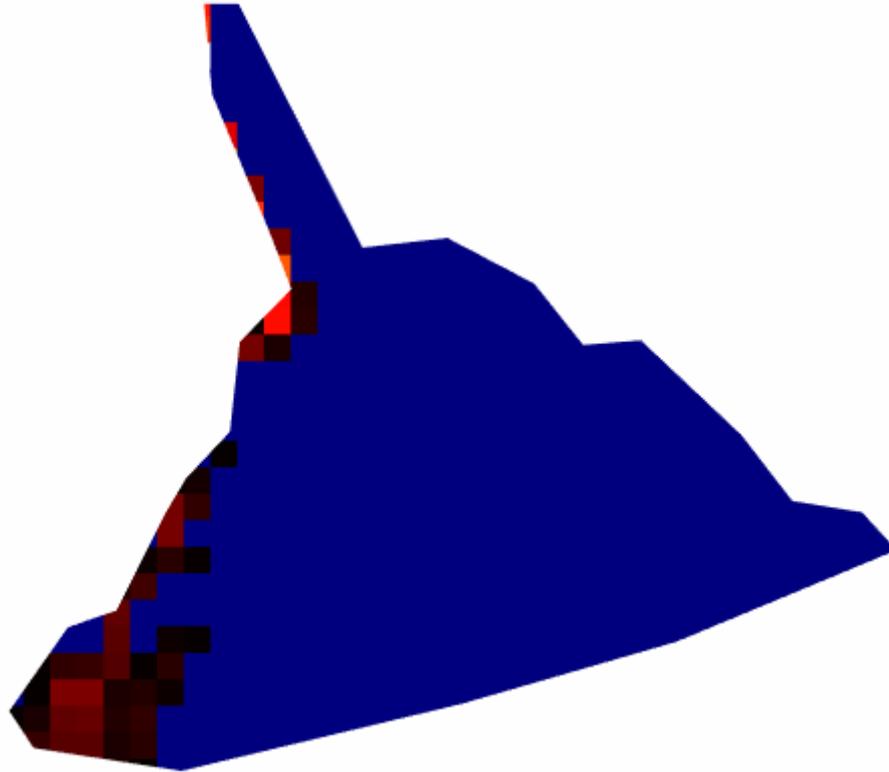


### 5.1. MODULES ORIENTES SUD

Les figures suivantes identifient les segments qui seront impactés par des rayons réfléchis, *i.e. la quasi-totalité des segments définis avec une très forte majorité au Sud du hameau de la Touche.*



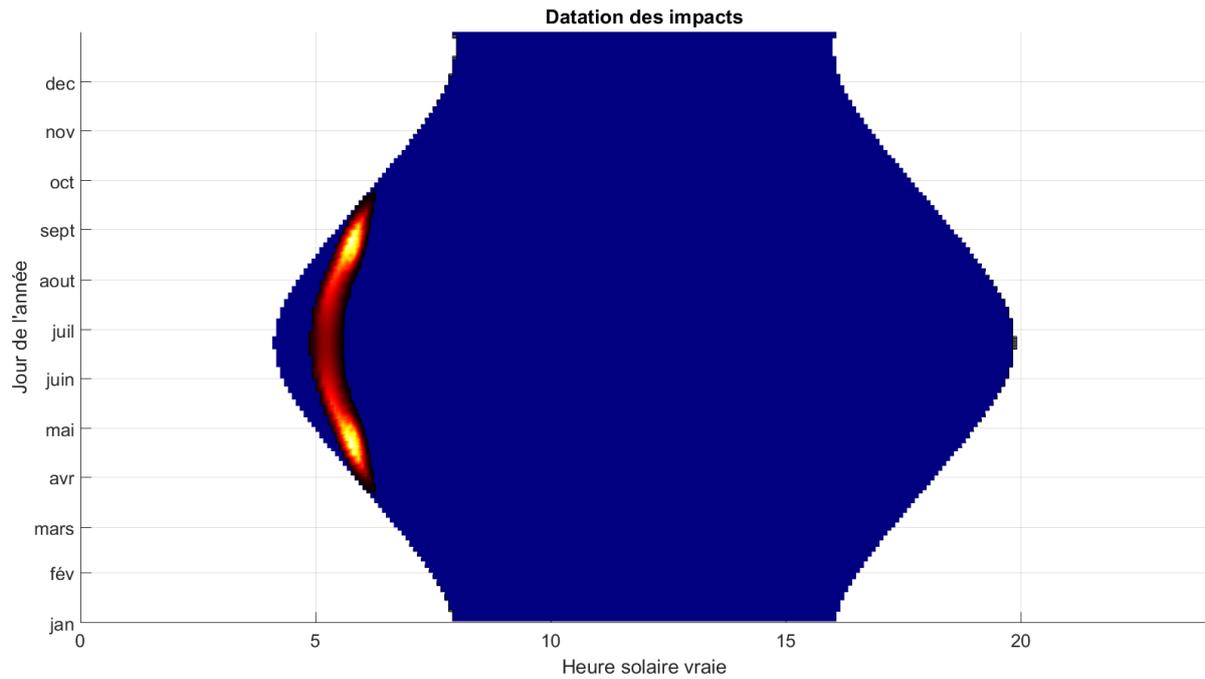
La figure suivante identifie les zones du générateur photovoltaïque qui vont générer des impacts, *soit moins de 10 % de l'emprise au sol.*



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.

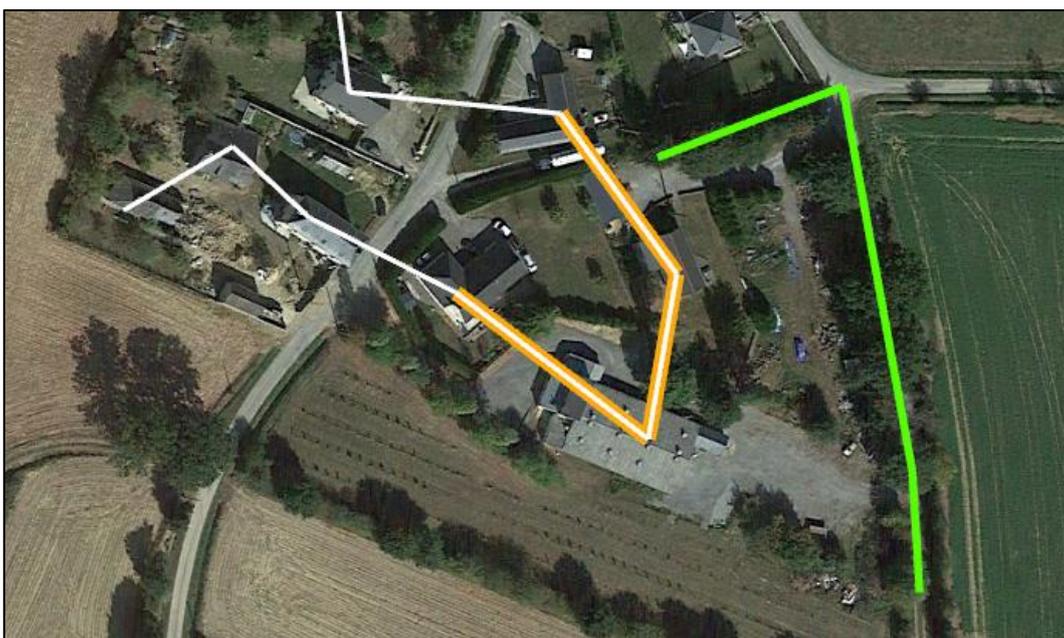
Les bords de la zone bleue correspondent aux lever et coucher du soleil, la forme rebondie traduisant le fait que la durée du jour est plus longue en été qu'en hiver.



L'analyse montre que les rayons réfléchis surviennent le matin, au plus tard 1h30 après le lever du soleil, entre fin mars et fin septembre.

Toutefois, il est à noter que la probabilité d'occurrence de l'éblouissement est d'autant plus faible que :

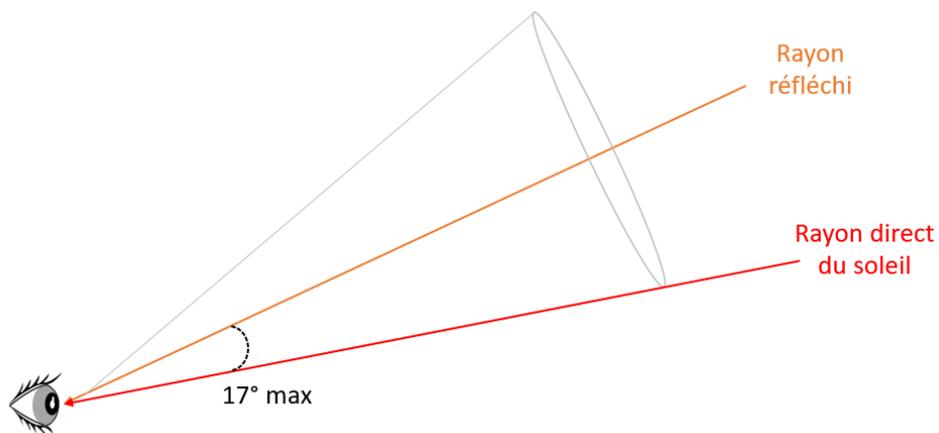
- La durée est limitée dans l'année (fin mars à fin septembre) et dans la journée avec des impacts survenant pendant un laps de temps inférieur à 45 minutes (i.e. la largeur maximale de la bande verticale présente dans la figure « datation des impacts ») au regard d'une journée de durée supérieure à 11 heures ;
- La présente analyse est faite avec une hypothèse d'absence de nuage ;
- Des arbres limitent fortement la covisibilité entre la zone identifiée et le générateur PV comme l'illustrent ci-après la vue Google Earth (avec les arbres en vert) et la photo Google Street.





Enfin, la sévérité de l'éblouissement reste limitée pour les raisons suivantes :

- Seuls 11 % des modules orientés SUD sont à l'origine de ces impacts ;
- La luminance des rayons réfléchis est entre 3,5 et 500 fois moins grande que les rayons du soleil lorsque ce dernier est au zénith (midi solaire) ;
- L'angle entre les rayons réfléchis et les rayons directs du soleil est systématiquement inférieur à 17° si bien qu'aujourd'hui, en l'absence de générateur PV et pour ces mêmes instants, les riverains peuvent déjà être éblouis par le soleil.

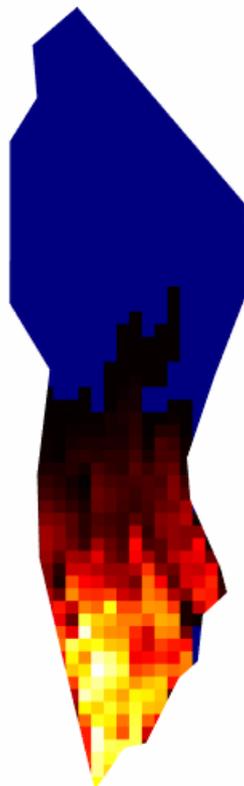


## 5.2. MODULES ORIENTES OUEST

Les figures suivantes identifient les segments qui seront impactés par des rayons réfléchis, *i.e. la quasi-totalité des segments définis avec de plus nombreuses occurrences au Nord du hameau de la Touche.*



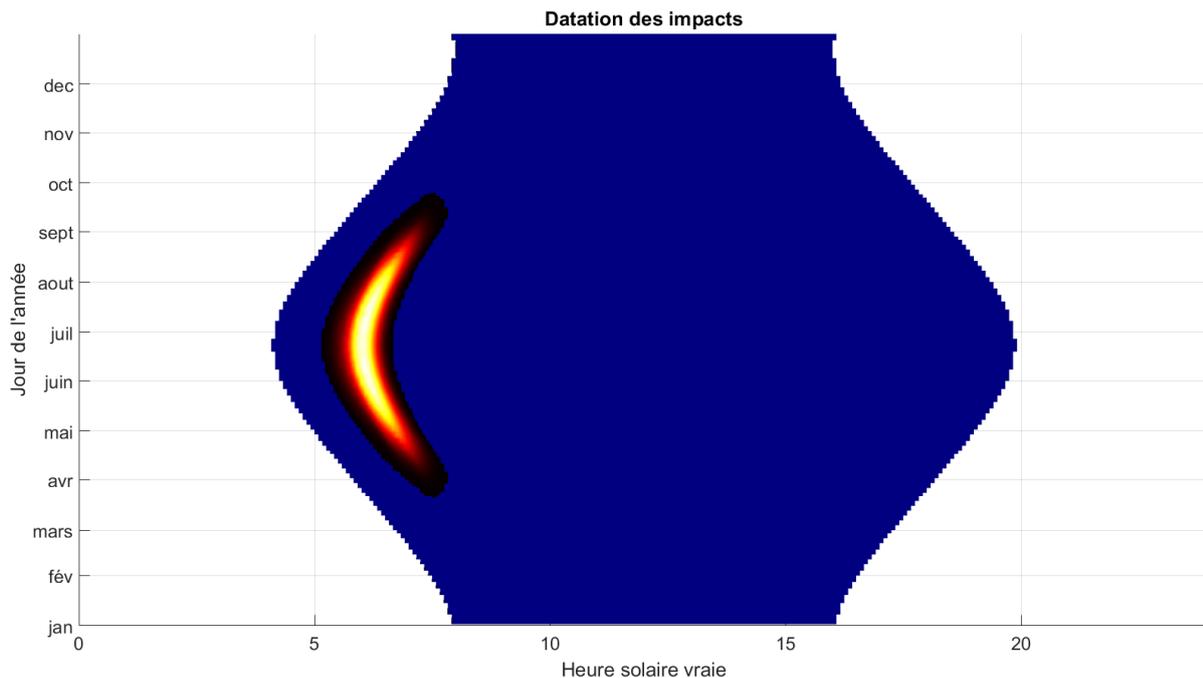
La figure suivante identifie les zones du générateur photovoltaïque qui vont générer des impacts, *soit moins de 46 % de l'emprise au sol.*



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.

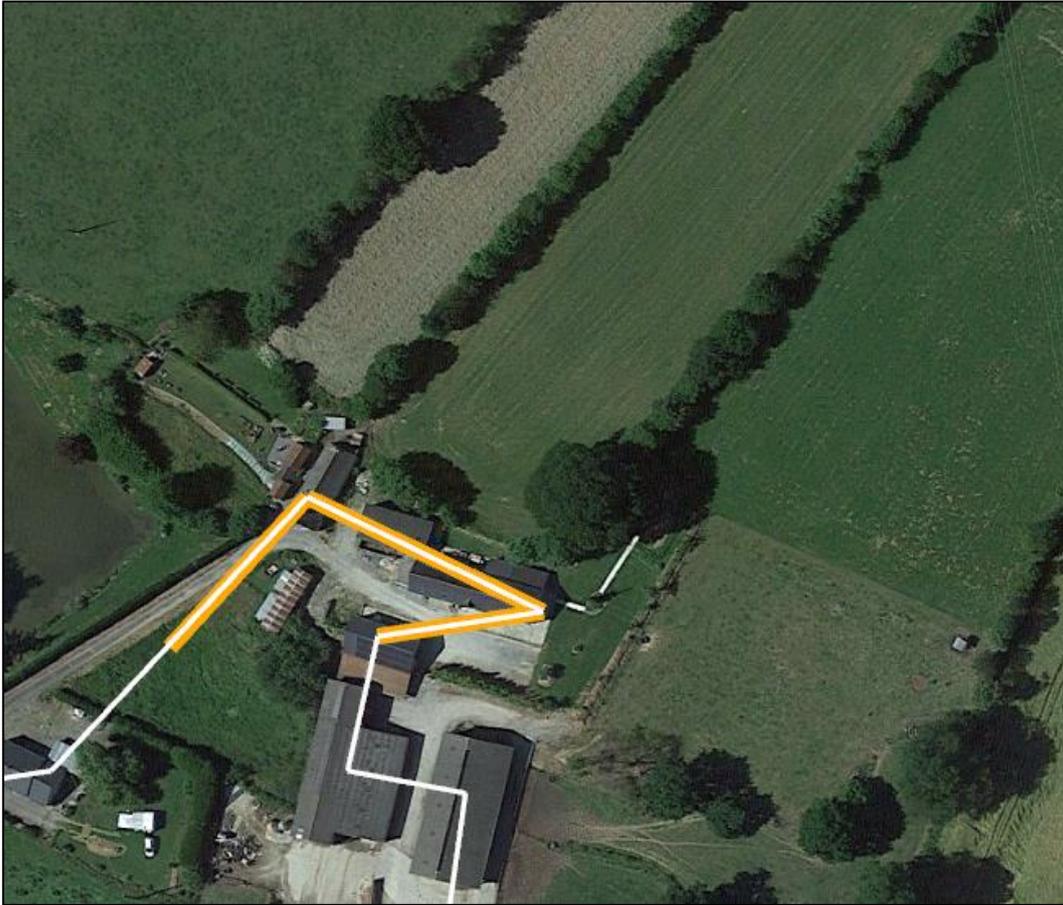
Les bords de la zone bleue correspondent aux lever et coucher du soleil, la forme rebondie traduisant le fait que la durée du jour est plus longue en été qu'en hiver.



L'analyse montre que les rayons réfléchis surviennent le matin, au plus tard 2h30 après le lever du soleil, entre mi-mars et fin septembre.

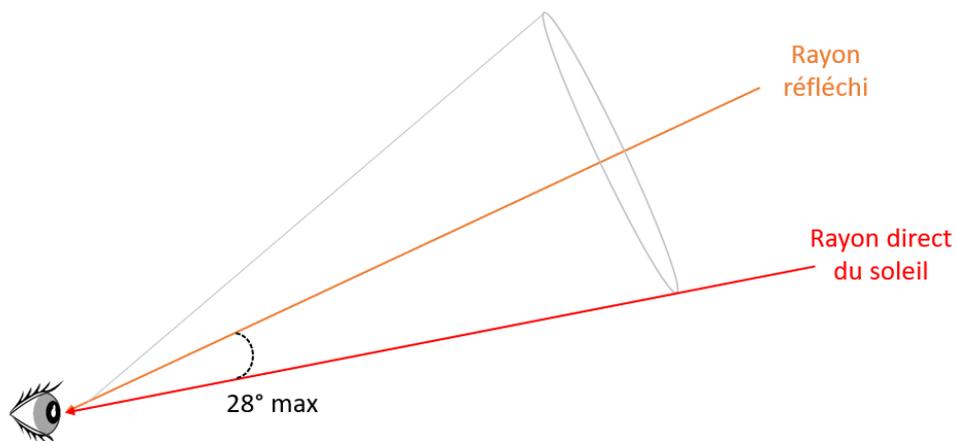
Toutefois, il est à noter que la probabilité d'occurrence de l'éblouissement est d'autant plus faible que :

- La probabilité d'occurrence de l'éblouissement est faible car la durée est limitée dans l'année (fin mars à fin septembre) et dans la journée avec des impacts survenant pendant un laps de temps inférieur à 95 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 11 heures ;
- La présente analyse est faite avec une hypothèse d'absence de nuage ;
- Des arbres limitent la covisibilité entre la zone identifiée et le générateur PV comme l'illustre ci-après la vue Google Earth.



Enfin, la sévérité de l'éblouissement reste limitée pour les raisons suivantes :

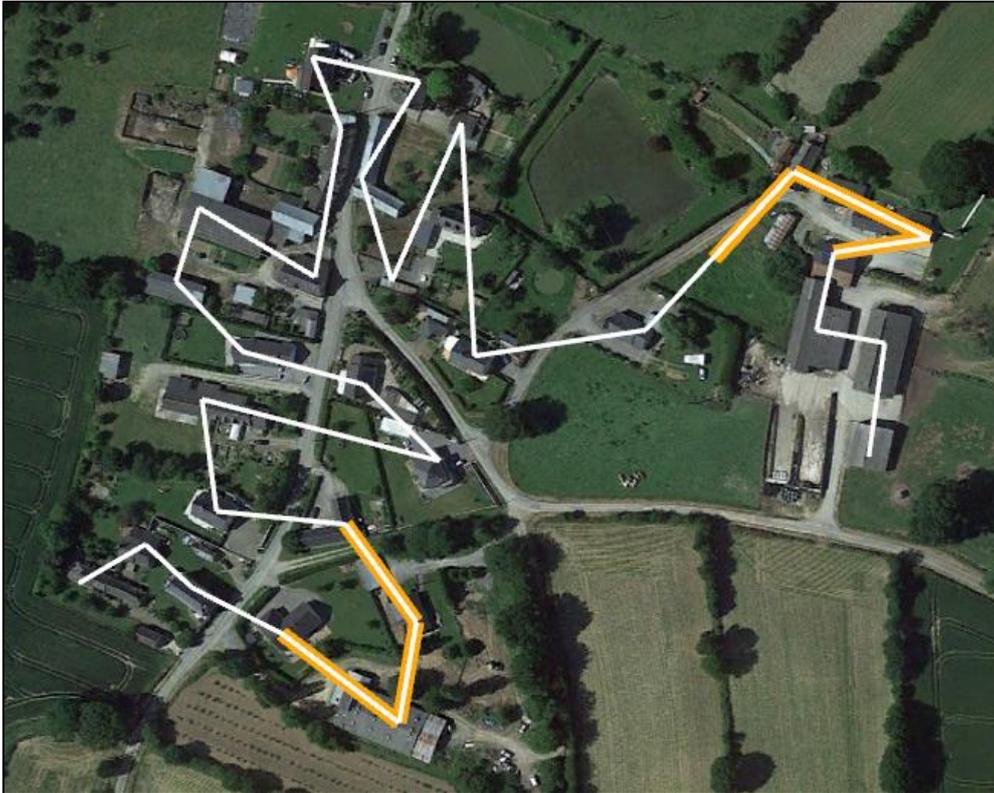
- La luminance des rayons réfléchis est environ 3 fois moins grande que les rayons du soleil lorsque ce dernier est au zénith (midi solaire) ;
- L'angle entre les rayons réfléchis et les rayons directs du soleil est systématiquement inférieur à 28° si bien qu'aujourd'hui, en l'absence de générateur PV et pour ces mêmes instants, les riverains peuvent déjà être éblouis par le soleil.



## 6. CONCLUSIONS

L'analyse indique que le hameau de la Grande Roche n'est soumis à aucun risque d'éblouissement.

Le hameau de la Touche présente un risque d'éblouissement pour les deux zones indiquées en orange dans la figure suivante. Les impacts surviennent le matin, au plus tard 2h30 après le lever du soleil, entre mi-mars et fin septembre.



Toutefois, il est à noter que la probabilité d'occurrence de l'éblouissement est d'autant plus faible que :

- La durée est limitée dans l'année (mi-mars à fin septembre) et dans la journée avec des impacts survenant pendant un laps de temps inférieur à 95 minutes au regard d'une journée de durée supérieure à 11 heures ;
- La présente analyse est faite avec une hypothèse d'absence de nuage ;
- Des arbres limitent la covisibilité entre la zone identifiée et le générateur PV comme l'illustre ci-après la vue Google Earth (avec les arbres en vert).

Enfin, la sévérité de l'éblouissement reste limitée pour les raisons suivantes :

- La luminance des rayons réfléchis est par nature de la réflexion sur le verre toujours inférieure à la luminance des rayons du soleil ;
- La luminance des rayons réfléchis est jusqu'à 500 fois moins grande que les rayons du soleil lorsque ce dernier est au zénith (midi solaire) ;
- L'angle entre les rayons réfléchis et les rayons directs du soleil est systématiquement inférieur à 28° si bien qu'aujourd'hui, en l'absence de générateur PV et pour ces mêmes instants, les riverains peuvent déjà être éblouis par le soleil. Cela signifie également que lorsque les riverains regarderont le générateur PV, ils auront également le soleil en vision centrale.