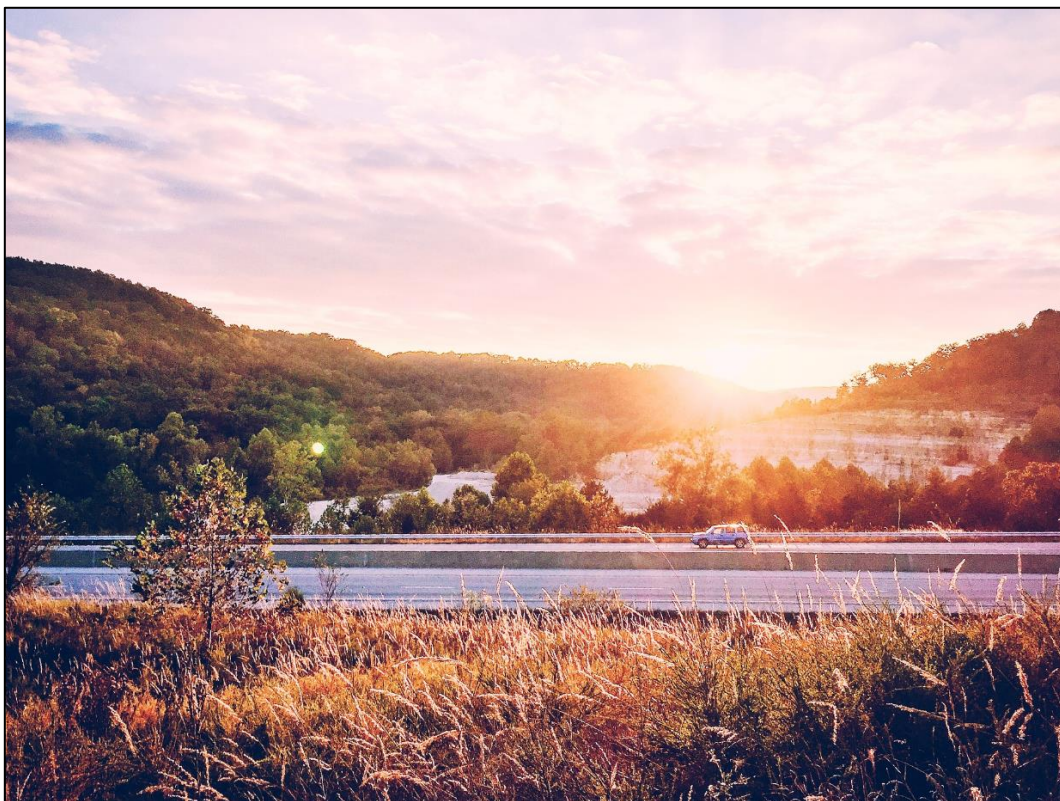




55, allée Pierre Ziller
06 560 Sophia Antipolis

Etude de Réverbération
Projet Photovoltaïque de Biard Les Renardières
Départementale D6



15 octobre 2021 – version 2

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 ENTRES CONSIDEREES 4
 - 3.1. PRESENTATION DU PROJET 4
 - 3.2. PRESENTATION DES ELEMENTS MODELISES 7
 - LE GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE ET LA DEPARTEMENTALE 7
 - LA TOPOGRAPHIE 8
 - LES MODULES 9
 - LA COURSE DU SOLEIL 10
- 4. ANALYSE 11
 - 4.1. TRAJECTOIRE DEPUIS L’OUEST 12
 - ZONE NORD 12
 - ZONE SUD 17
 - 4.2. TRAJECTOIRE DEPUIS L’EST 22
- 5. CONCLUSION 23

2. PRESENTATION GENERALE

2.1. PRESENTATION DU DOCUMENT

Ce document présente l'étude de réverbération du projet photovoltaïque de la société EDF RENOUVELABLES à Biard (Vienne), à proximité de la départementale D6. 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



26, boulevard de Stalingrad
CS 52314
44 023 Nantes Cedex 01

Contact :

M. Timothée DEGRACE – timothee.degrace@edf-re.fr

Cabinet d'Ingénierie



55, allée Pierre Ziller
06 560 Sophia Antipolis

Contact :

M. Christophe VERNAY – christophe.vernay@solais.fr

3. PRESENTATION DU PROJET ET DES ENTRES CONSIDEREES

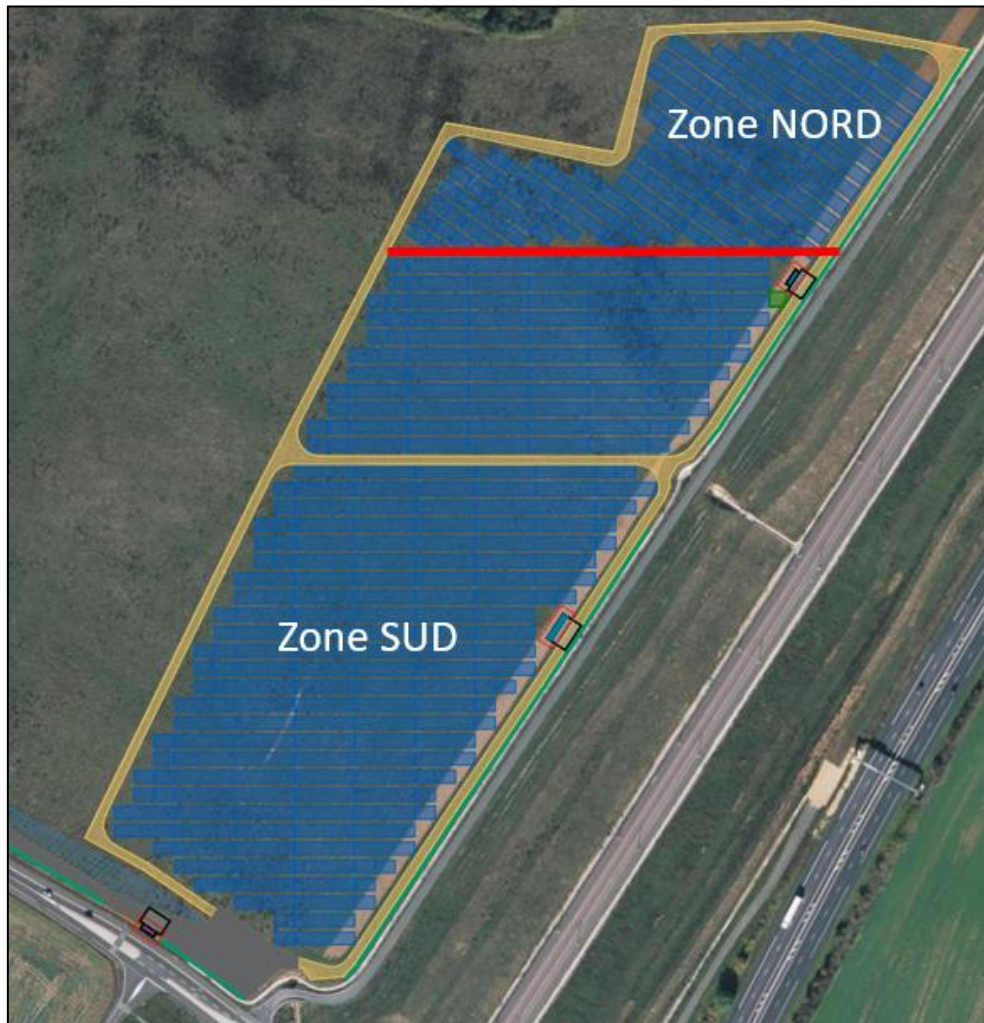
3.1. PRESENTATION DU PROJET

Le projet de la société EDF RENOUELVABLES consiste à réaliser une centrale photovoltaïque au sol à Biard (Vienne), à proximité de la départementale D6.

Intitulé	Latitude	Longitude
Centrale au sol fixe	46.583626°	0.290533°



La figure suivante présente le plan d'implantation des modules photovoltaïques répartis en deux zones SUD et NORD avec des configurations différentes.



Le tableau suivant détaille les caractéristiques du générateur photovoltaïque.

Intitulé	Azimut	Inclinaison	Hauteur min	Hauteur max
Zone NORD	240° (Sud-Ouest)	10°	+1,0 m	+3,0 m
Zone SUD	180° (Sud)			

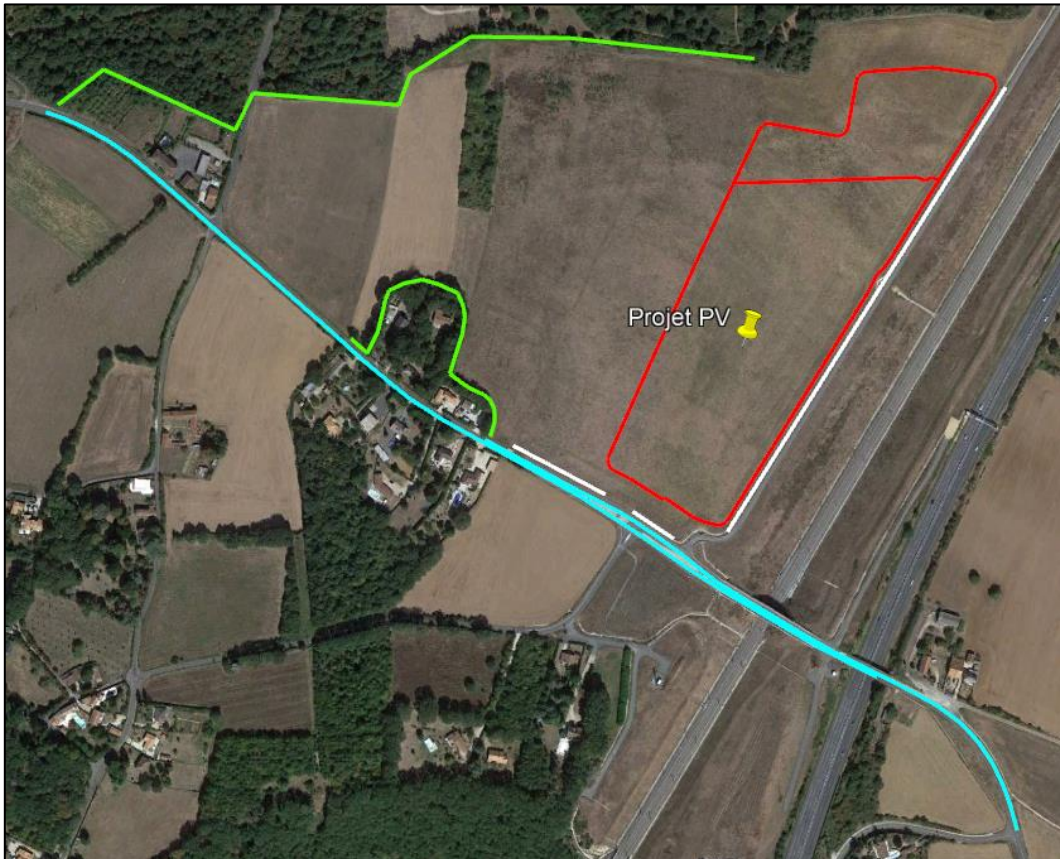
La figure suivante présente l’emprise au sol des modules photovoltaïques avec la localisation de la départementale (en jaune).



3.2. PRESENTATION DES ELEMENTS MODELISES

LE GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE ET LA DEPARTEMENTALE

La figure suivante présente la modélisation du générateur à partir de deux polygones ainsi que la végétation modélisée dans l'étude permettant de supprimer certains cas d'éblouissement. Ces arbres ont été modélisés avec deux hypothèses de hauteur : 5 m pour les arbres existant (en vert) et 3 m pour la haie paysagère (en blanc) mise en place dans le cadre du projet.



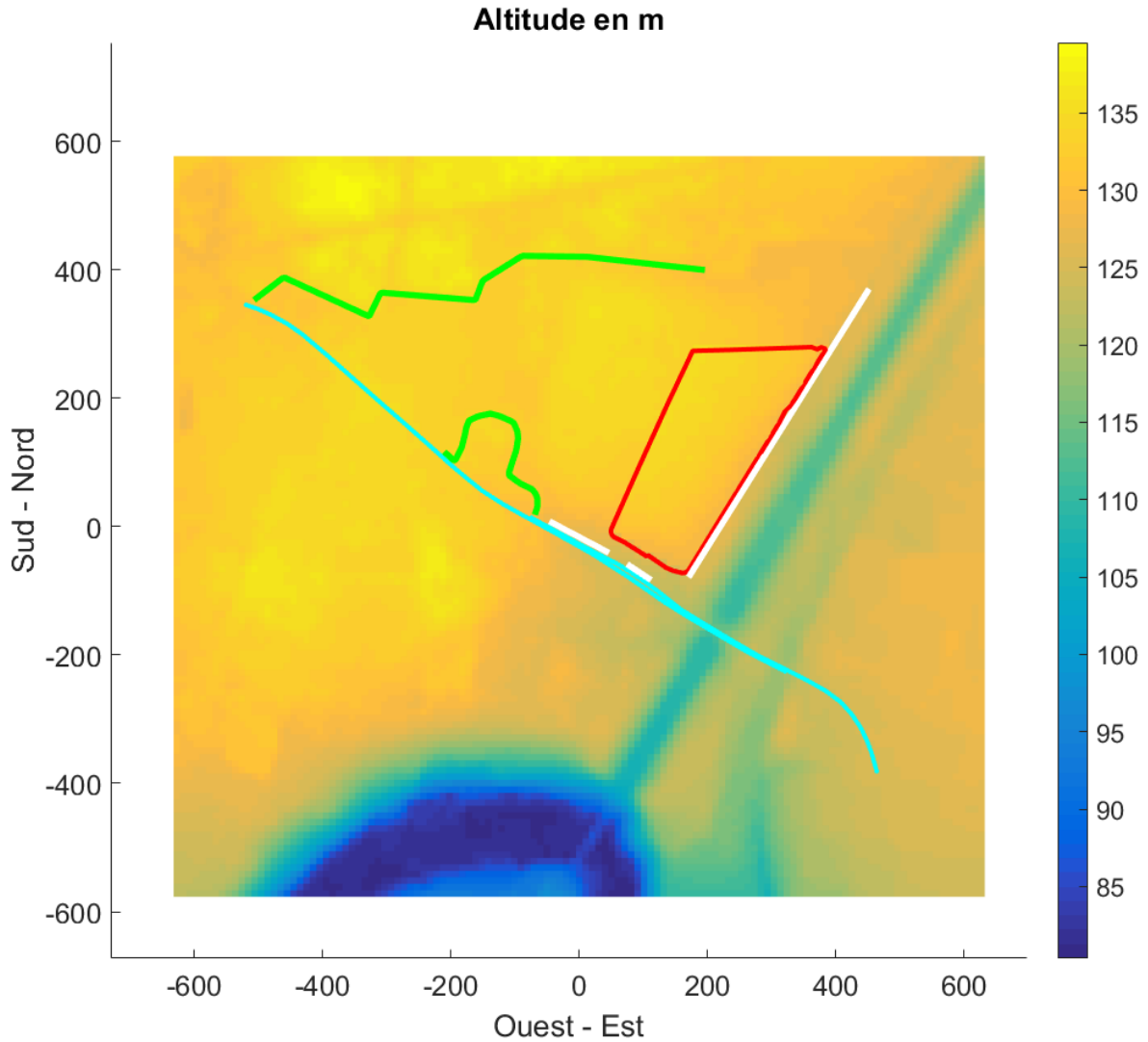
La figure suivante présente une vue Google Street de ces arbres.



La trajectoire considérée dans cette étude est représentée en bleu. 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

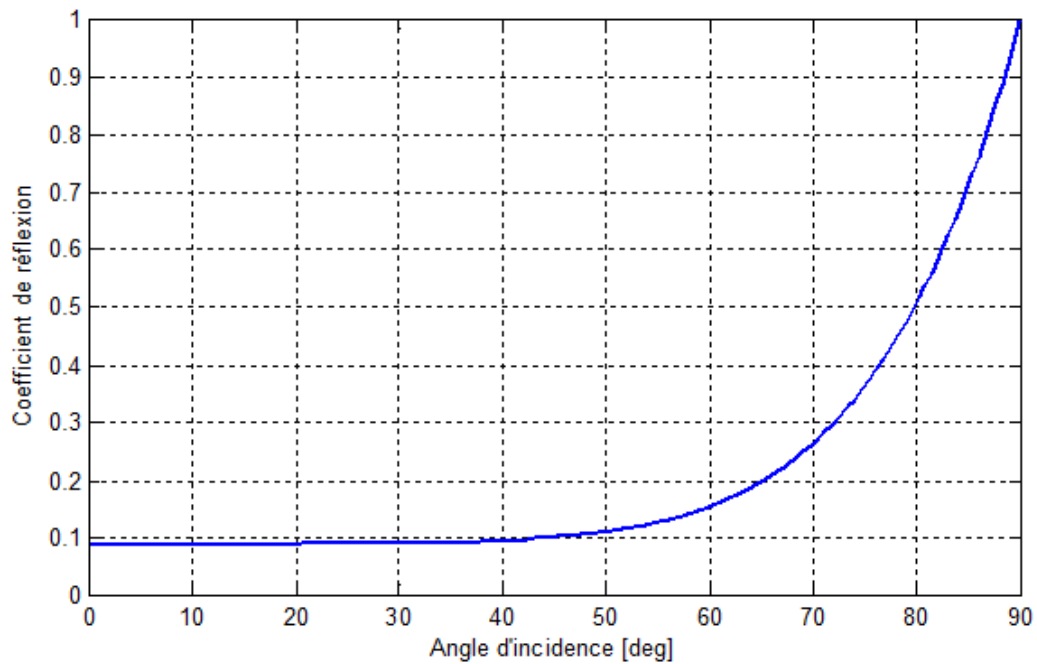
Un modèle numérique de terrain avec une maille de 10 m a été utilisé pour cette étude. Le générateur est représenté en rouge, les trajectoires des automobiles en cyan et les masques végétaux en vert. Le dégradé de couleur correspond à l'altitude du terrain en mètres.



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.

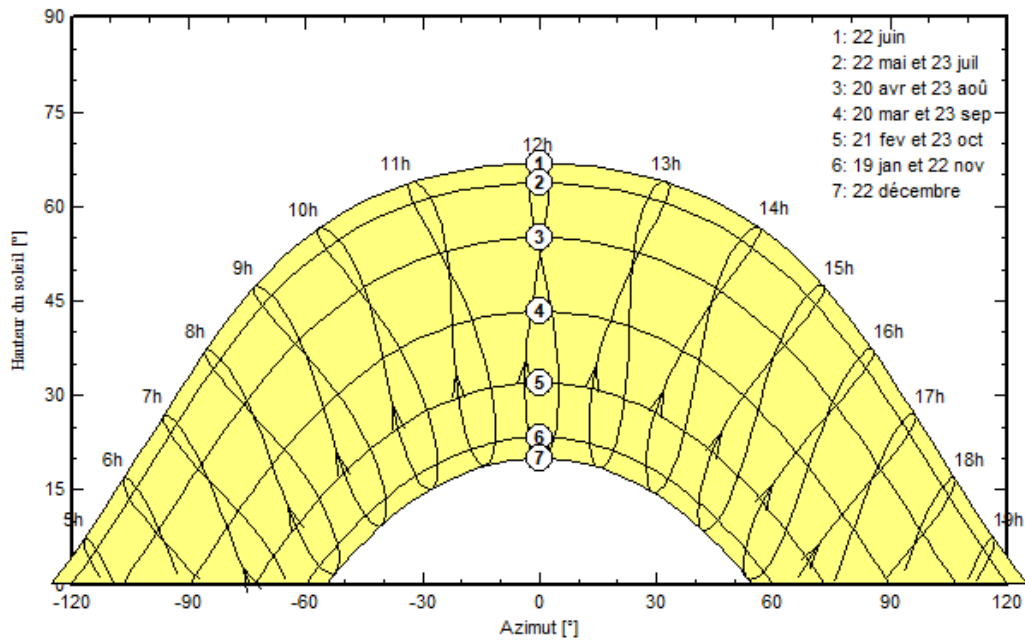


LA COURSE DU SOLEIL

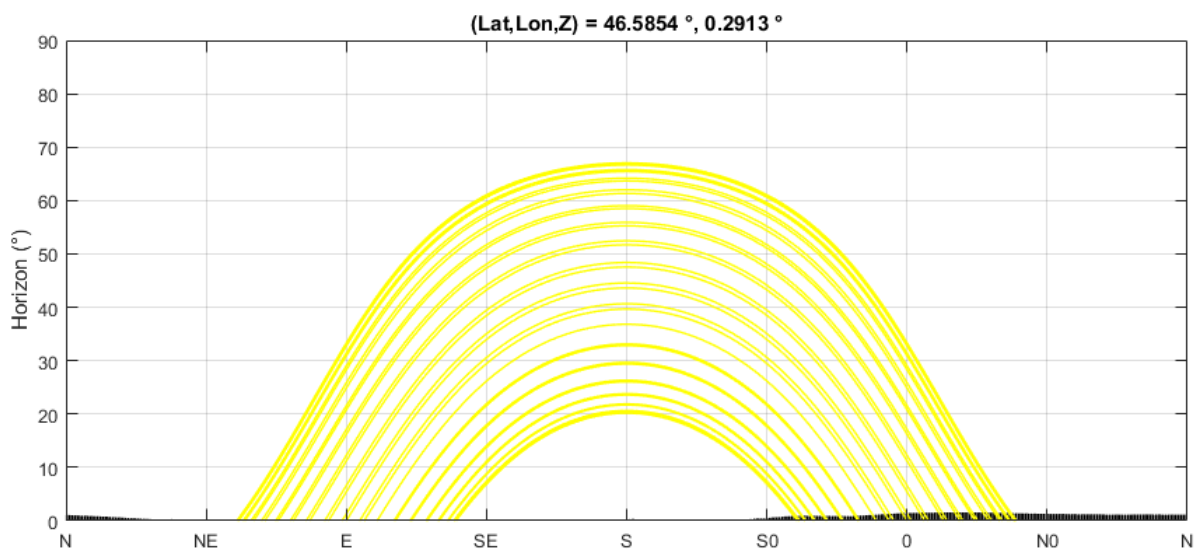
La figure suivante présente pour le site étudié la course du soleil tout au long de l’année, le solstice d’été (22 juin) étant la courbe supérieure et le solstice d’hiver (22 décembre) la courbe inférieure :

- 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. 46.5854° N, long. 0.2913° E, alt. 130 m) Temps légal



Le relief lointain observé à l'emplacement de l'installation photovoltaïque doit être pris en compte dans l'étude de réverbération car il peut cacher les rayons directs du soleil et donc réduire les impacts identifiés. La figure suivante représente la course du Soleil ainsi que le relief lointain considéré, en noir.



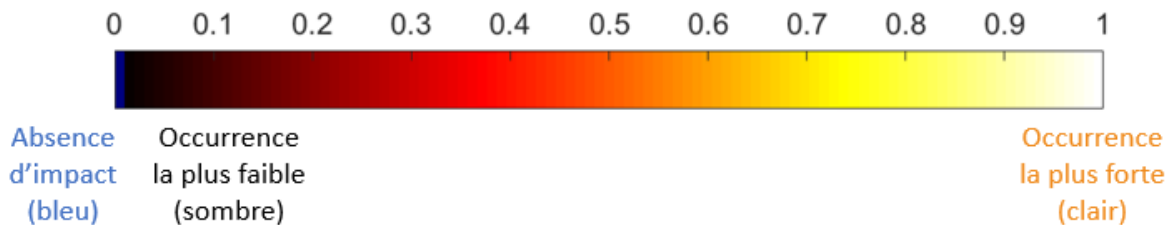
4. ANALYSE

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.

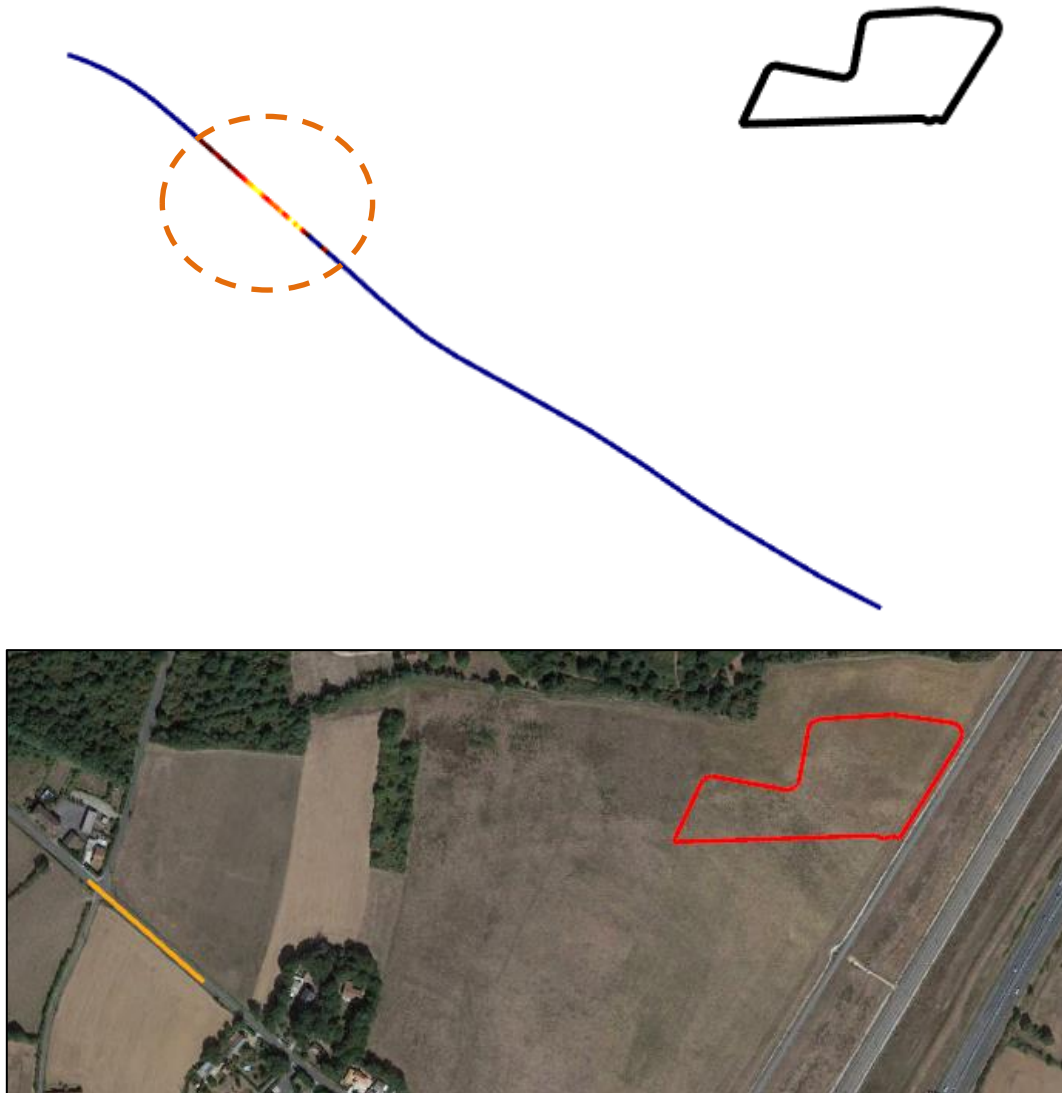
Un même code couleur est utilisé pour chaque visuel : plus la couleur est claire, plus l'occurrence des impacts est élevée, l'occurrence étant définie comme le nombre d'impacts identifiés par la simulation. Une occurrence nulle (i.e. absence d'impact) est indiquée en bleu.



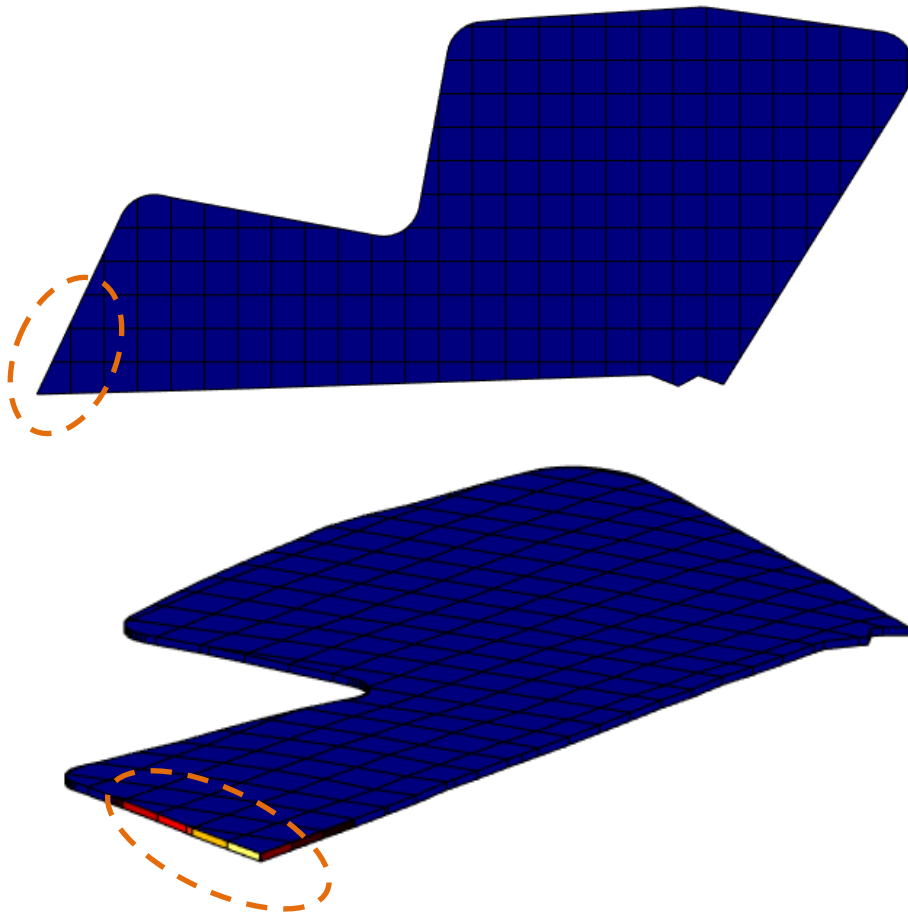
4.1. TRAJECTOIRE DEPUIS L'OUEST

ZONE NORD

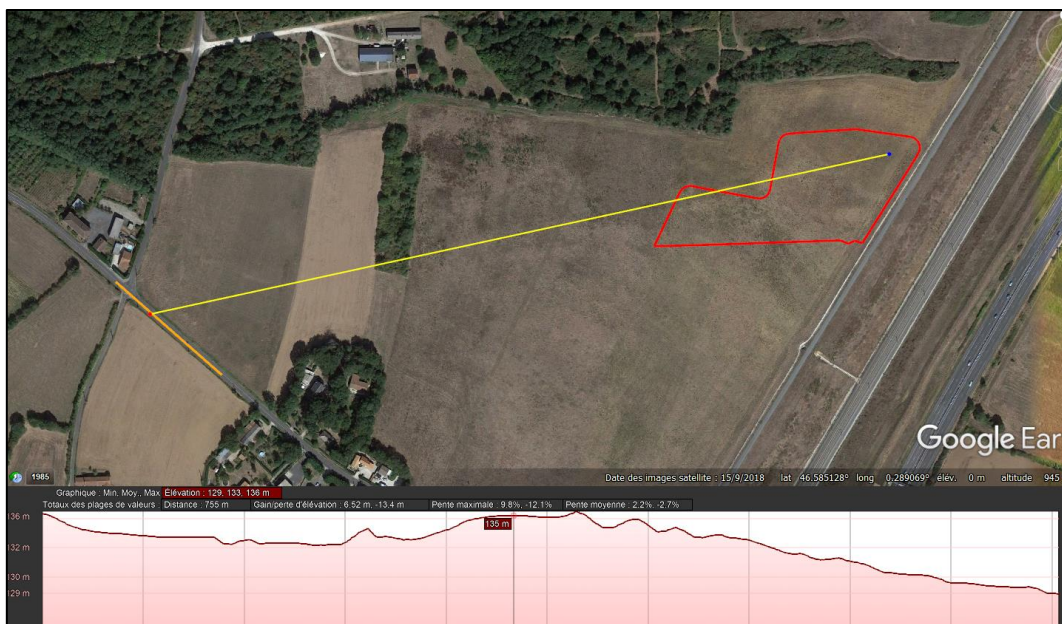
Les figures suivantes identifient pour les automobiles circulant depuis l'Ouest la zone de la trajectoire qui sera impactée par des rayons réfléchis (sont exclus les rayons réfléchis survenant dans le dos des automobilistes), i.e. un tronçon d'environ 140 m, soit moins de 7 secondes à 80 km/h.



La figure suivante identifie les zones du générateur photovoltaïque qui vont générer ces rayons réfléchis. L'analyse montre qu'une infime partie de la zone NORD sera à l'origine de ces rayons réfléchis.



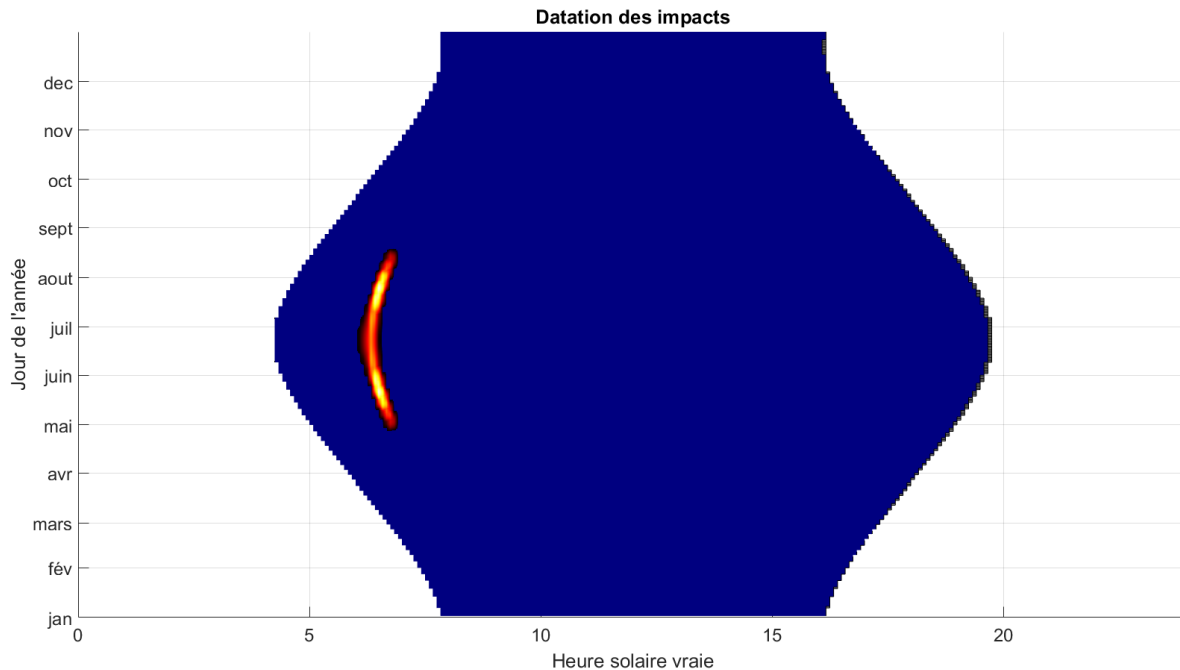
La figure suivante présente le profil altimétrique, issu de Google Earth, entre le tronçon impacté et la zone NORD et illustre le fait que la topographie est la raison de l'absence de covisibilité entre la trajectoire et la majeure partie de la zone NORD.



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.

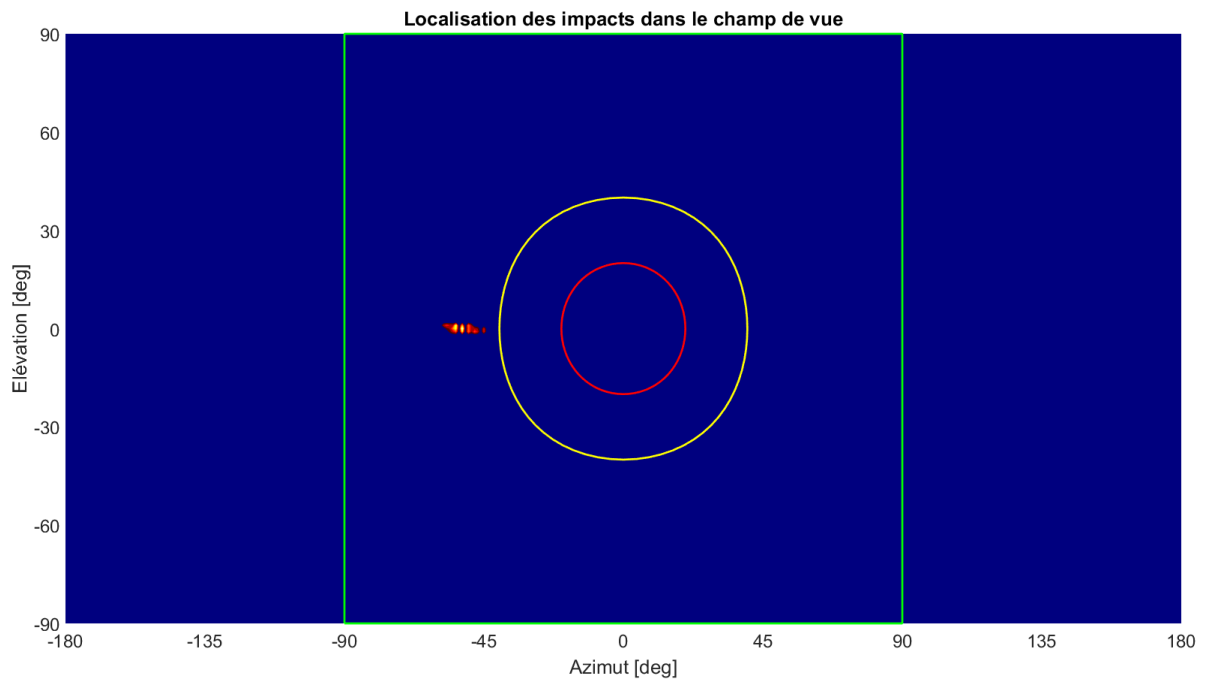
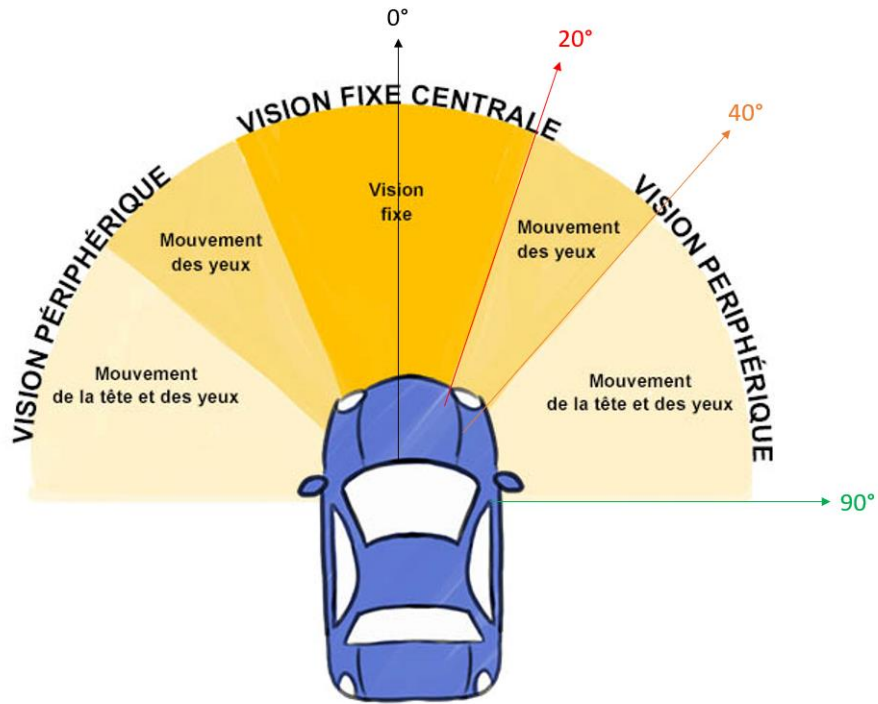


L'analyse montre que les rayons réfléchis surviennent le matin, entre fin avril et mi-août, sur une durée journalière inférieure à 30 minutes. La probabilité d'occurrence de l'éblouissement est donc très faible au regard d'une journée de durée supérieure à 12 heures.

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.

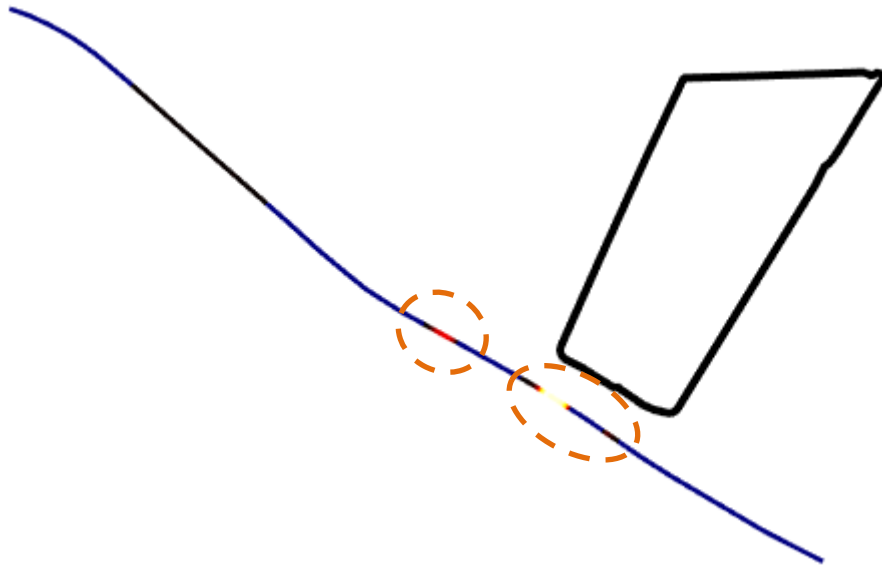


*L'analyse montre que pour la trajectoire depuis l'Ouest, les rayons réfléchis arriveront dans la vision périphérique des automobilistes (> 44°) si bien que le risque d'éblouissement est présent mais **la sévérité très faible**.*

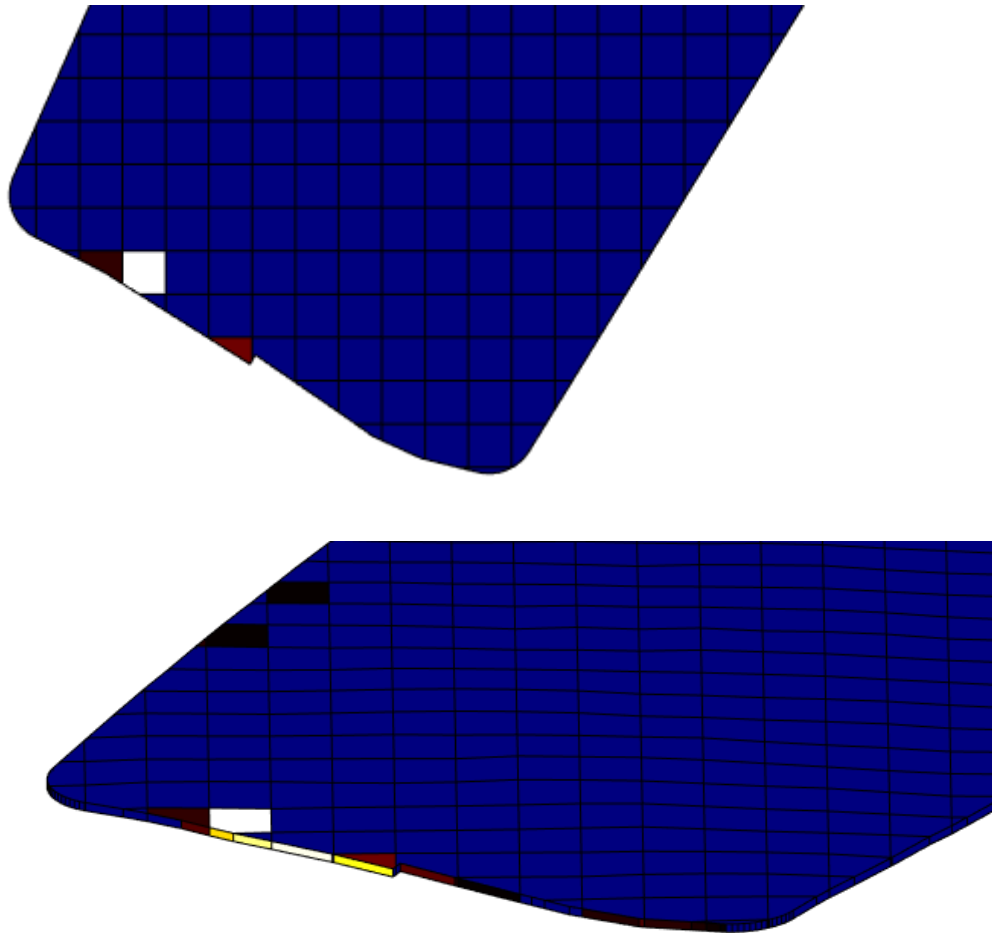
SYNTHESE DU CAS ETUDIE	
Zone PV	Zone NORD
Trajectoire	Depuis l'Ouest
Conclusion	Risque d'éblouissement Probabilité et sévérité très faibles
Période	Entre fin avril et mi-août
Heure solaire vraie	[6h – 6h55] ±15 min
Durée journalière	< 30 minutes
Élévation solaire	[16 – 22°]
Angle trajectoire / rayons	[44 – 59°]
Angle entre rayons réfléchis et rayons directs du Soleil	[15 – 25°]
Tronçon impacté	Environ 140 m, soit moins de 7 secondes à 80 km/h

ZONE SUD

Les figures suivantes identifient pour les automobiles circulant depuis l'Ouest 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. un tronçon cumulé d'environ 140 m, soit moins de 7 secondes à 80 km/h.



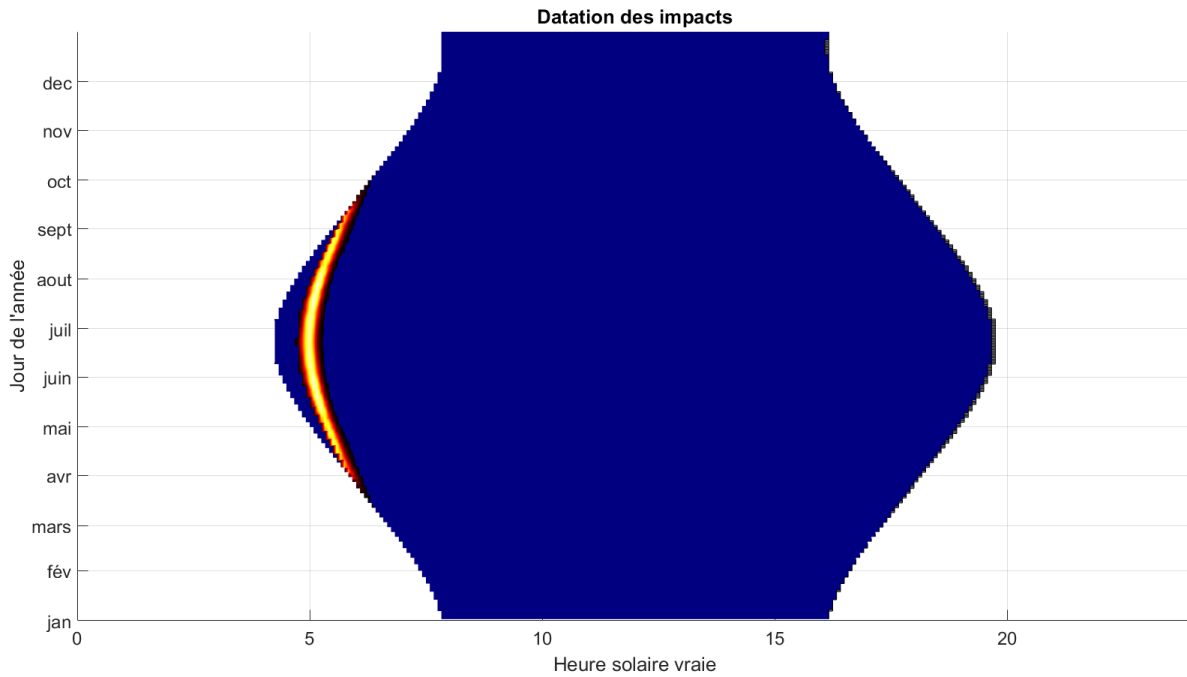
La figure suivante identifie les zones du générateur photovoltaïque qui vont générer ces rayons réfléchis. L'analyse montre que seuls 1 % de la zone SUD sera à l'origine de ces rayons réfléchis.



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.

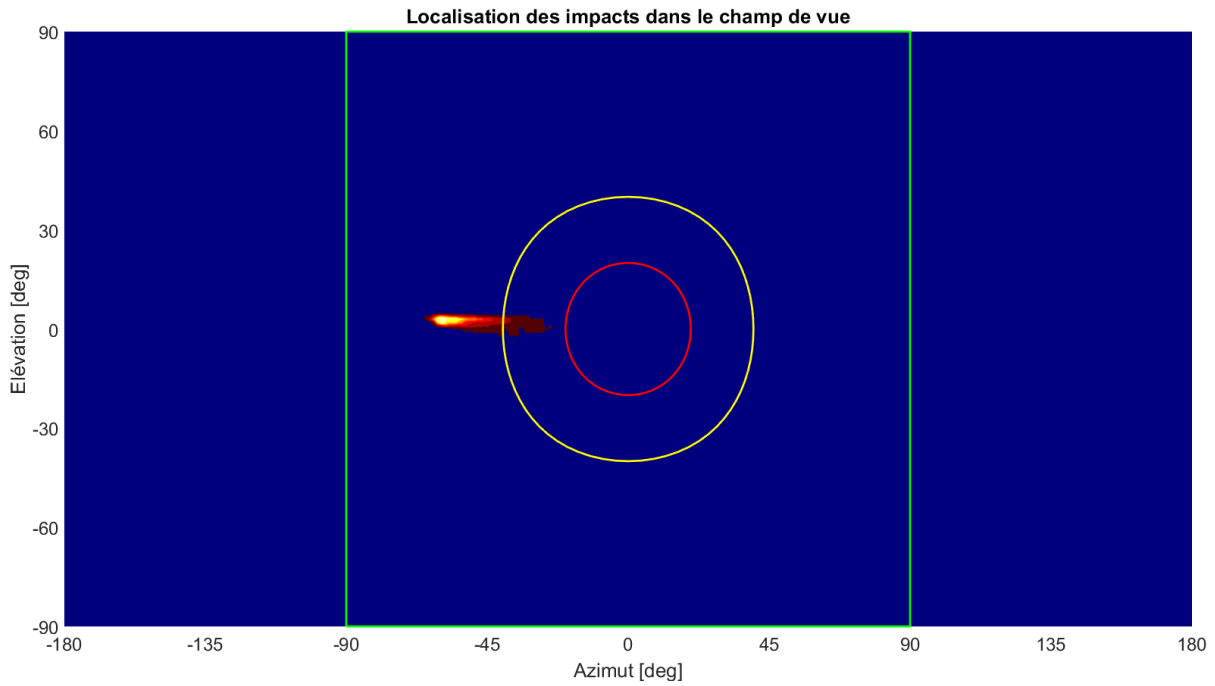


L'analyse montre que les rayons réfléchis surviennent le matin, entre mi-mars et fin septembre, sur une durée journalière inférieure à 35 minutes. La probabilité d'occurrence de l'éblouissement est donc très faible au regard d'une journée de durée supérieure à 12 heures.

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

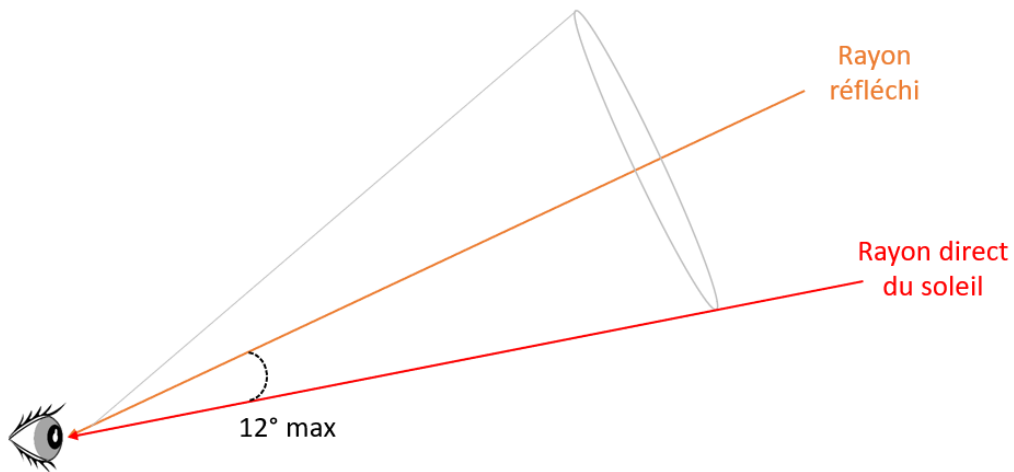
- Le centre de la figure correspond au regard dans l'axe de la trajectoire ;
- L'axe des abscisses correspond à l'angle de la vision latérale (vers la gauche ou vers la droite par rapport à la trajectoire) ;
- L'axe des ordonnées correspond à l'angle d'élévation du regard (vers le haut ou vers le bas).

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 l'Ouest, les rayons réfléchis arriveront principalement en vision périphérique des automobilistes mais également en limite de leur vision centrale ($> 24^\circ$) si bien que le risque d'éblouissement est présent mais *la sévérité très faible*.

Il est à noter que la sévérité de l'éblouissement est d'autant plus faible que l'angle entre les rayons réfléchis et les rayons directs du soleil est systématiquement inférieur à 12° si bien qu'aujourd'hui, en l'absence de générateur PV et pour ces mêmes instants, les automobilistes sont déjà éblouis par le soleil.



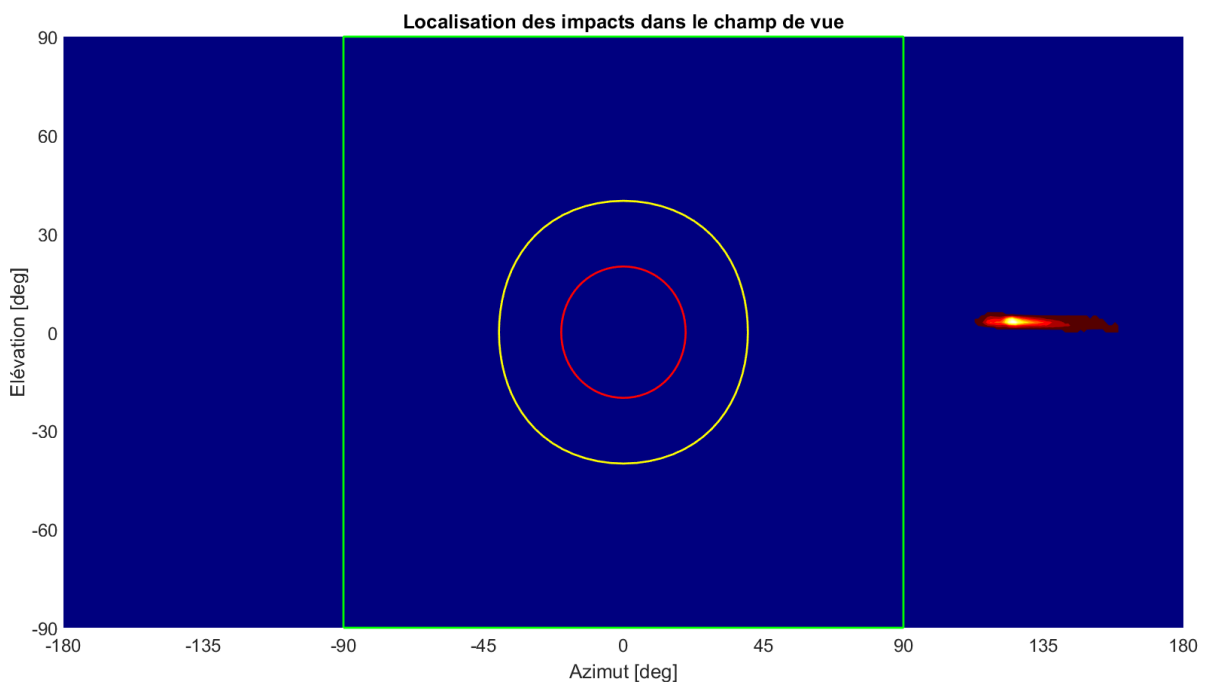
SYNTHESE DU CAS ETUDIE	
Zone PV	Zone SUD
Trajectoire	Depuis l'Ouest
Conclusion	Risque d'éblouissement Probabilité et sévérité très faibles
Période	Entre mi-mars et fin septembre
Heure solaire vraie	[4h40 – 6h20] ±15 min
Durée journalière	< 35 minutes
Élévation solaire	[0 – 10°]
Angle trajectoire / rayons	[24 – 65°]
Angle entre rayons réfléchis et rayons directs du Soleil	[0 – 12°]
Tronçon impacté	Environ 140 m, soit moins de 7 secondes à 80 km/h

4.2. TRAJECTOIRE DEPUIS L'EST

La figure suivante présente pour l'ensemble des zones NORD et SUD, 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.



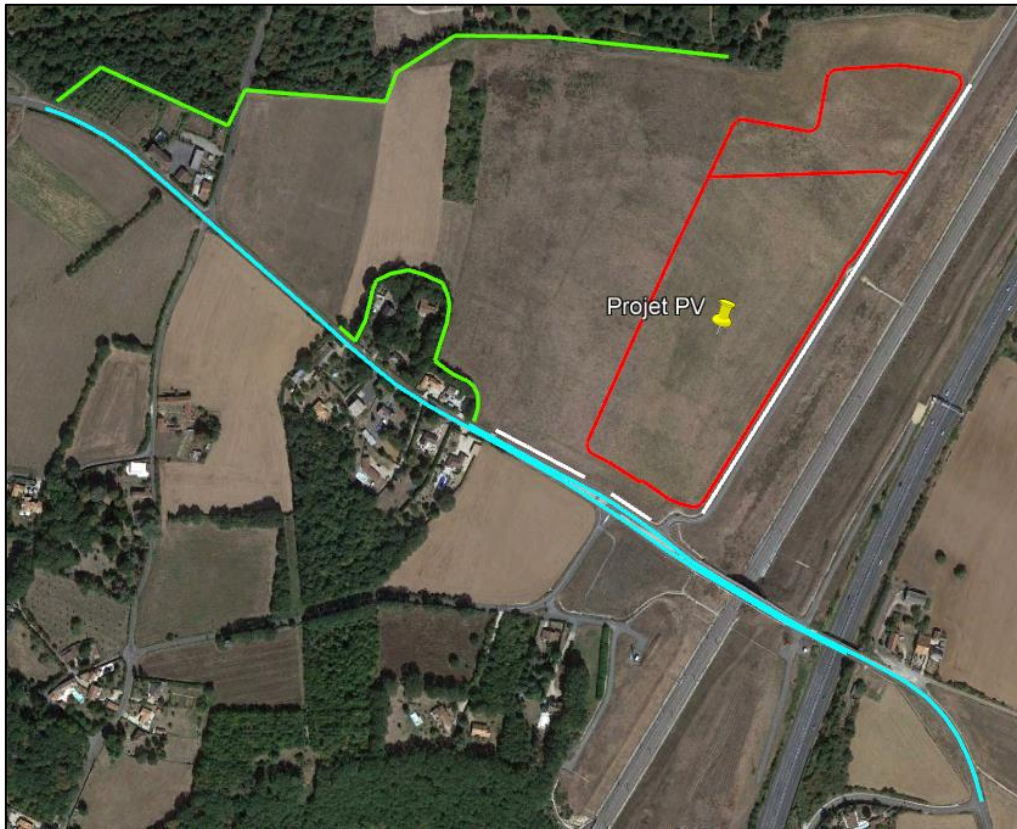
L'analyse montre que pour la trajectoire depuis l'Est, les rayons réfléchis arriveront dans le dos des automobilistes (> 90°) si bien que le risque d'éblouissement est nul.

SYNTHESE DU CAS ETUDIE	
Zone PV	Zones NORD et SUD
Trajectoire	Depuis l'Est
Conclusion	Rayons réfléchis dans le dos Aucun risque d'éblouissement
Angle trajectoire / rayons	> 90°

5. CONCLUSION

La figure suivante présente :

- En rouge l’emprise au sol du générateur (zones NORD et SUD) ;
- En cyan la trajectoire des véhicules avec une hauteur de 1,5 m pour les conducteurs ;
- En vert les haies végétales existantes avec en hypothèse une hauteur de 5 m ;
- En blanc les haies paysagères mises en place dans le cadre du projet avec une hauteur de 3 m.



L’étude de réverbération démontre l’absence de risque d’éblouissement pour les véhicules circulant depuis l’Est, l’ensemble des rayons réfléchis survenant dans le dos des conducteurs.

Pour les véhicules circulant depuis l’Ouest :

- La zone NORD peut générer de l’éblouissement pour les automobilistes :
 - Dans leur seule vision périphérique ce qui limite fortement la sévérité des impacts ;
 - Entre fin avril et mi-août ;
 - Le matin, sur une durée journalière inférieure à 30 minutes ;
 - Sur un tronçon d’environ 140 m, soit moins de 7 secondes à 80 km/h.
- La zone SUD peut générer de l’éblouissement pour les automobilistes :
 - Principalement en vision périphérique mais dans une moindre mesure en limite de vision centrale ;
 - Entre mi-mars et fin septembre ;
 - Le matin, sur une durée journalière inférieure à 35 minutes.
 - Sur un tronçon cumulé d’environ 140 m, soit moins de 7 secondes à 80 km/h.

Pour cette zone SUD, il est à noter que la sévérité de l'éblouissement est d'autant plus faible que l'angle entre les rayons réfléchis et les rayons directs du soleil est systématiquement inférieur à 12° si bien qu'aujourd'hui, en l'absence de générateur PV et pour ces mêmes instants, les automobilistes sont déjà éblouis par le soleil.

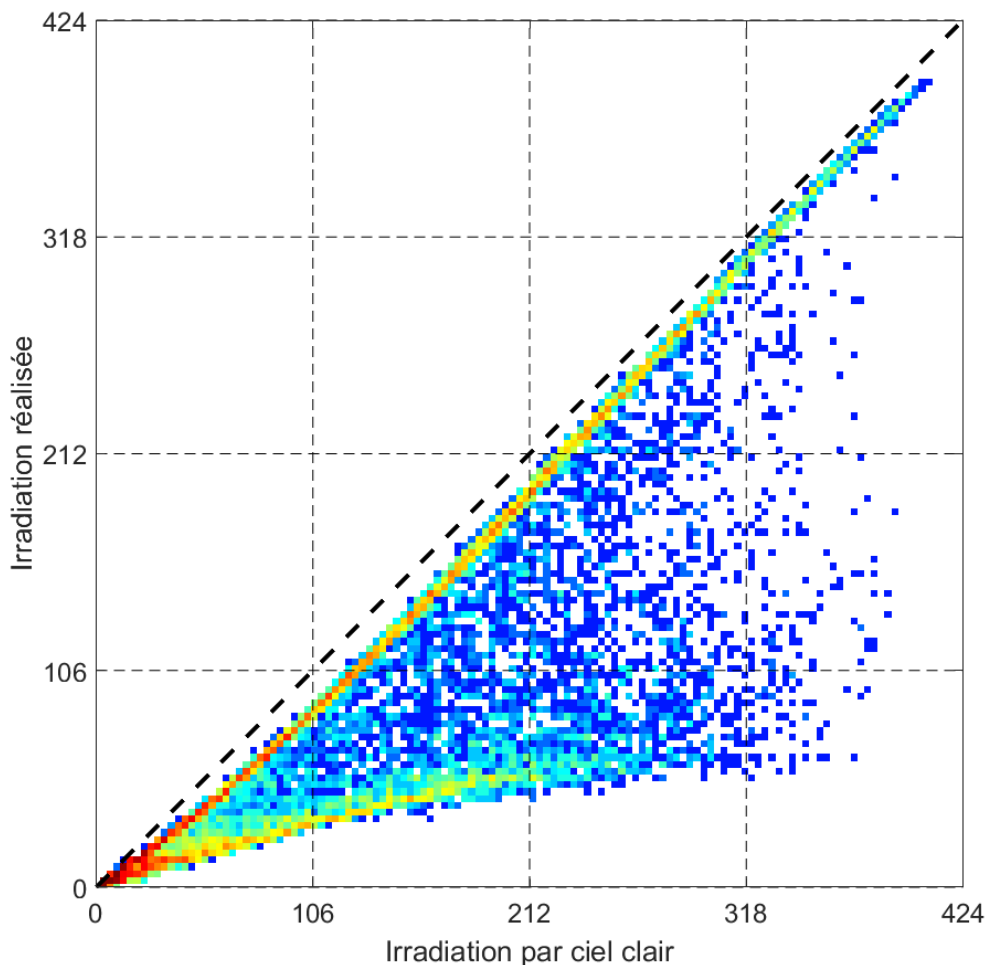
Par ailleurs, il est à noter que la probabilité d'occurrence de l'éblouissement est faible pour les raisons suivantes :

- La durée est limitée dans l'année et dans la journée avec des impacts survenant pendant un laps de temps inférieur à 35 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 comme le démontre l'analyse ci-après.

L'histogramme suivant présente pour les occurrences d'éblouissement identifiées le matin :

- En abscisse (axe horizontal), l'irradiation théorique par ciel clair, en W/m², issue de la base de données McClear ;
- En ordonnée (axe vertical), l'irradiation constatée sur le site en question depuis 2004 issue de la base de données HelioClim-3 (satellite Meteosat Second Generation – MSG) ;
- La couleur donne une densité d'occurrence, de la plus faible (bleu) à la plus forte (rouge).

Plus les points sont proches de la diagonale (pointillés), plus les conditions de ciel clair sont réalisées.



Trois tendances sont mises en avant :

- De nombreuses conditions de ciel clair (courbe supérieure) ;
- De nombreuses conditions de ciel couvert (courbe inférieure) ;
- Un entre-deux moins fréquent.