

Projet de parc photovoltaïque Thenay (Le controis-en-Sologne) 41



Pièce 2D

Annexe : Etude de Réverbération

Dossier de demande d'autorisations au titre du permis de construire :

- **Pièce 1** : Dossier architectural sur la commune de Thenay (Le Controis-en-Sologne)
- **Pièce 2A** : Étude d'impacts sur l'Environnement (EIE)
- **Pièce 2B** : Annexe : volet naturel de l'étude d'impacts sur l'environnement (VNEI)
- **Pièce 2C** : Résumé non Technique (RNT) de l'étude d'Impacts sur l'Environnement
- **Pièce 2D** : Annexe : Étude de Réverbération de l'étude d'impacts sur l'Environnement

 **PHOTOSOL**
Producteur d'énergie photovoltaïque

PHOTOSOL DEVELOPPEMENT
40 rue la Boétie 75008 PARIS



55, allée Pierre Ziller
06 560 Sophia Antipolis

Etude de Réverbération

Projet Photovoltaïque de Thenay - Le Controis-en-Sologne

Route départementale – RD 30



2 décembre 2022 – version 1.1

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	6
	LE GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE	6
	LA TRAJECTOIRE DES VEHICULES	9
	LA TOPOGRAPHIE	10
	LES MODULES	10
	LA LUMINANCE DU SOLEIL	11
	LA COURSE DU SOLEIL	12
4.	ANALYSE DE L'ENVELOPPE DES RAYONS REFLECHIS	13
	ANALYSE 3D	14
	SYNTHESE DE L'ANALYSE 3D	16
5.	ANALYSE DES OCCURENCES IDENTIFIEES	17
5.1.	TRAJECTOIRE DEPUIS L'OUEST	18
5.2.	TRAJECTOIRE DEPUIS L'EST	24
5.3.	PROBABILITE DE CIEL CLAIR	29
6.	CONCLUSION	30

2. PRESENTATION GENERALE

2.1. PRESENTATION DU DOCUMENT

Ce document présente l'étude de réverbération du projet photovoltaïque au sol de la société PHOTOSOL DEVELOPPEMENT localisé à Thenay, 41400 Le Controis-en-Sologne (Loir-et-Cher) à proximité de la route départementale 30. 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

Porteur de projet



40/42 rue la Boétie
75 008 PARIS

Contact :

Nafissatou FALANA - nafissatou.falana@photosol.fr
Mob : 06 72 38 49 52

Cabinet d'Ingénierie



55, allée Pierre Ziller
06 560 Sophia Antipolis

Contact :

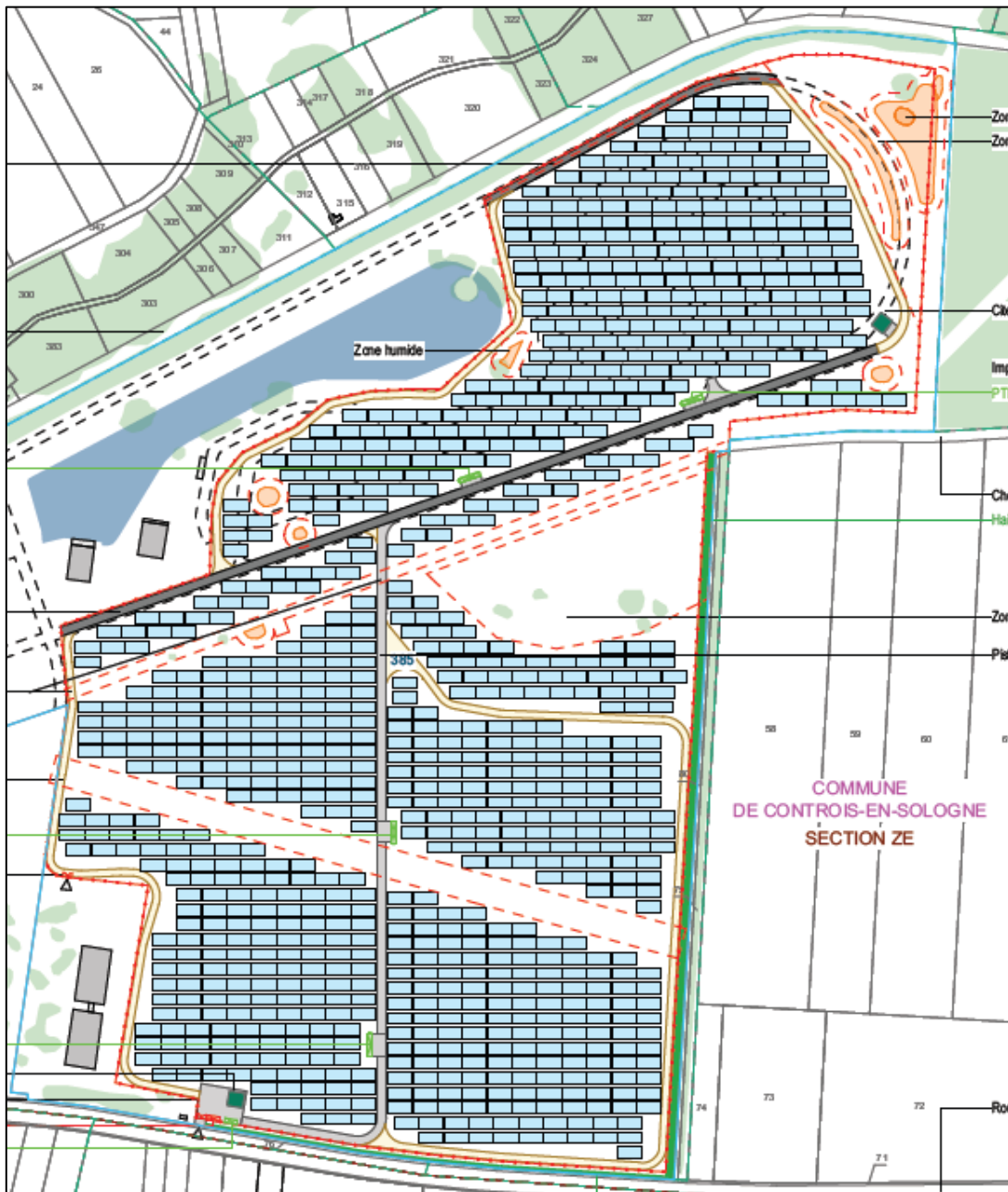
M. John COUTEL – john.coutel@solais.fr

3. PRESENTATION DU PROJET ET DES ENTREES CONSIDEREES

3.1. PRESENTATION DU PROJET

Le projet de la société PHOTOSOL DEVELOPPEMENT consiste à réaliser une centrale photovoltaïque au sol à fixe (sans solution de suivi du soleil), à Thenay, 20 routes de phages, 41400 Le Controis-en-Sologne (Loir-et-Cher) à proximité de la route départementale 30.

Intitulé	Latitude	Longitude
Centrale au sol fixe	47.393776°	1.305479°



Plan d'implantation des modules photovoltaïques

Le tableau suivant détaille les caractéristiques du générateur photovoltaïque, la technologie de modules utilisés étant des modules rigides (cristallins) avec du verre en surface susceptible de réfléchir les rayons directs du soleil.

Intitulé	Azimut*	Inclinaison	Point bas des tables	Point haut des tables	Emprise au sol
Centrale au sol fixe	180° (Plein Sud)	15°	0,8 m	3,0 m	~ 15 ha

* Suivant la convention Sud = 180°

La figure suivante présente l'emprise au sol des modules photovoltaïques avec la localisation de la départementale 30 de couleur cyan pour les 2 sens de circulation.



3.2. PRESENTATION DES ELEMENTS MODELISES

LE GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE

L'image suivante présente une superposition de l'implantation des modules photovoltaïques et de la vue satellite du site.



La figure suivante présente la modélisation du générateur à partir d'un unique polygone.



Les figures suivantes présentent des vues Google Street de la route départementale 30. L'ancienne imprimerie numérique « Anjou Etiquettes (ex: l'imprimerie RABET L'IMAGE) » est visible sur le côté gauche de la route dans le sens Ouest-Est de la trajectoire des automobilistes.

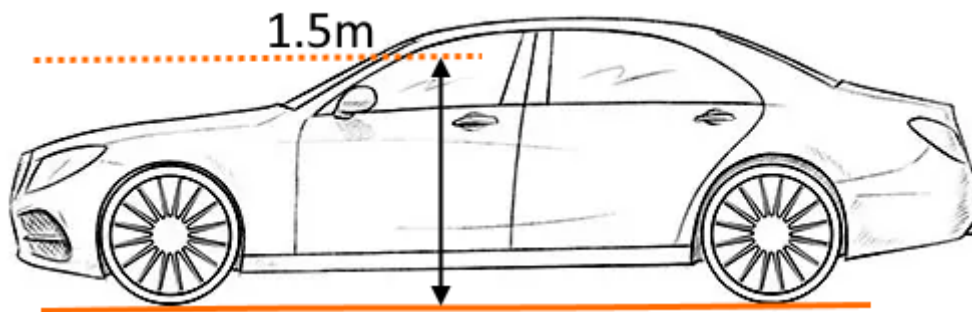


LA TRAJECTOIRE DES VEHICULES

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

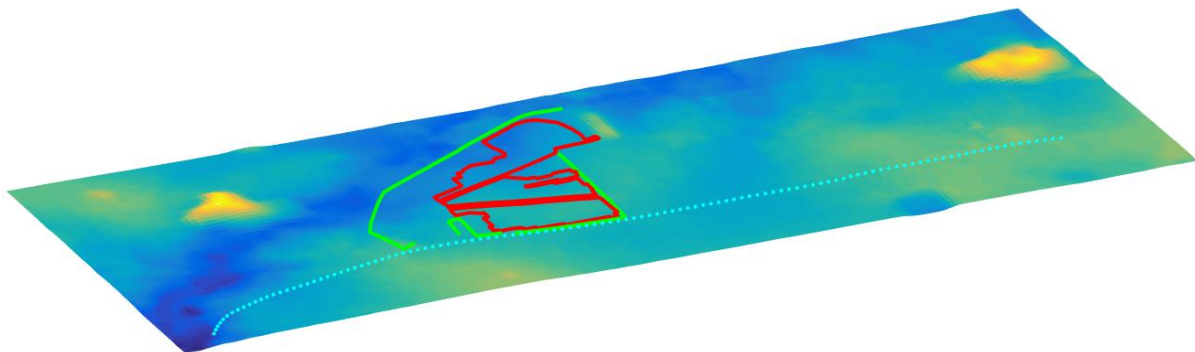
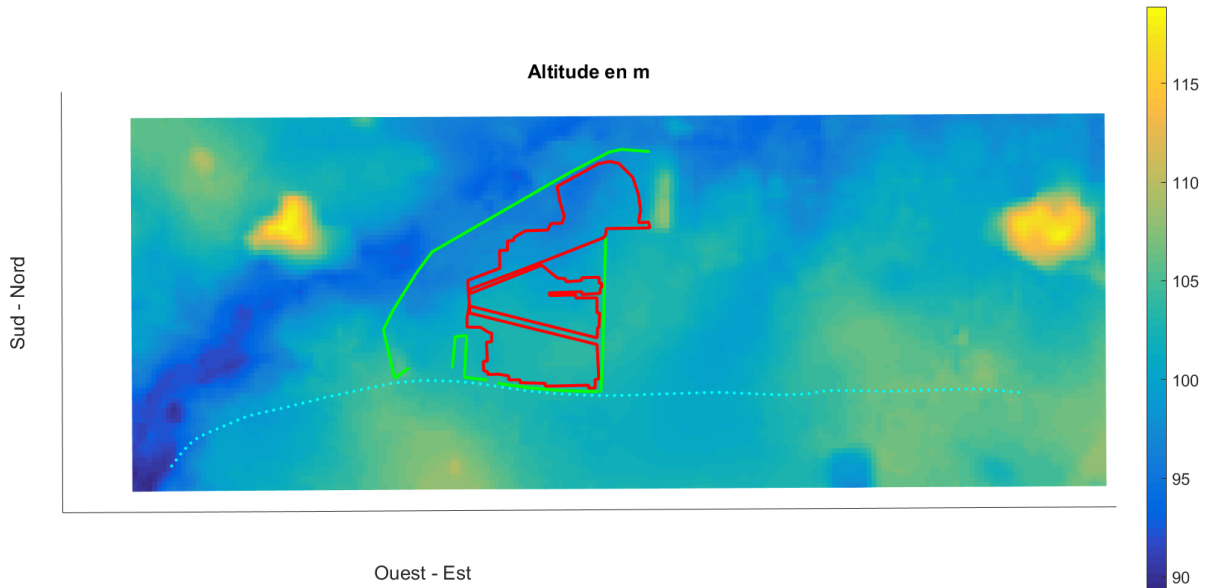


Une hauteur de 1,5 m au-dessus du sol a été considérée afin de prendre en compte les conducteurs des voitures sur la départementale.



LA TOPOGRAPHIE

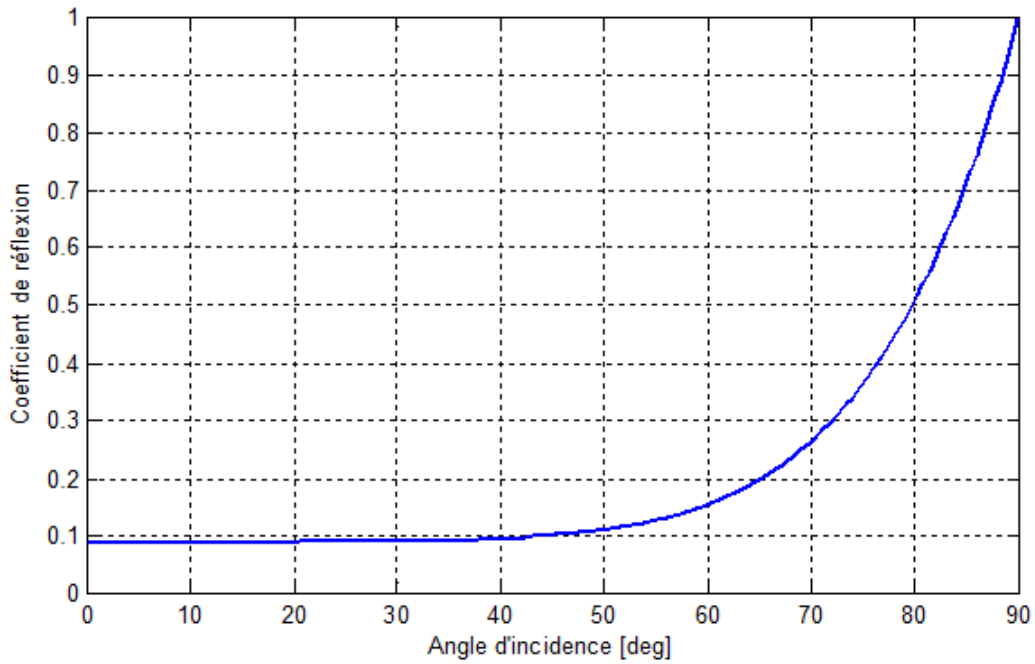
Un modèle numérique de terrain avec une maille de 20 m a été utilisé pour cette étude. Le générateur est représenté en rouge, les trajectoires des automobiles en cyan, et l'ensemble des masques végétaux (haies, arbres existants) en vert. Le dégradé de couleur correspond à l'altitude du terrain en mètres.



LES MODULES

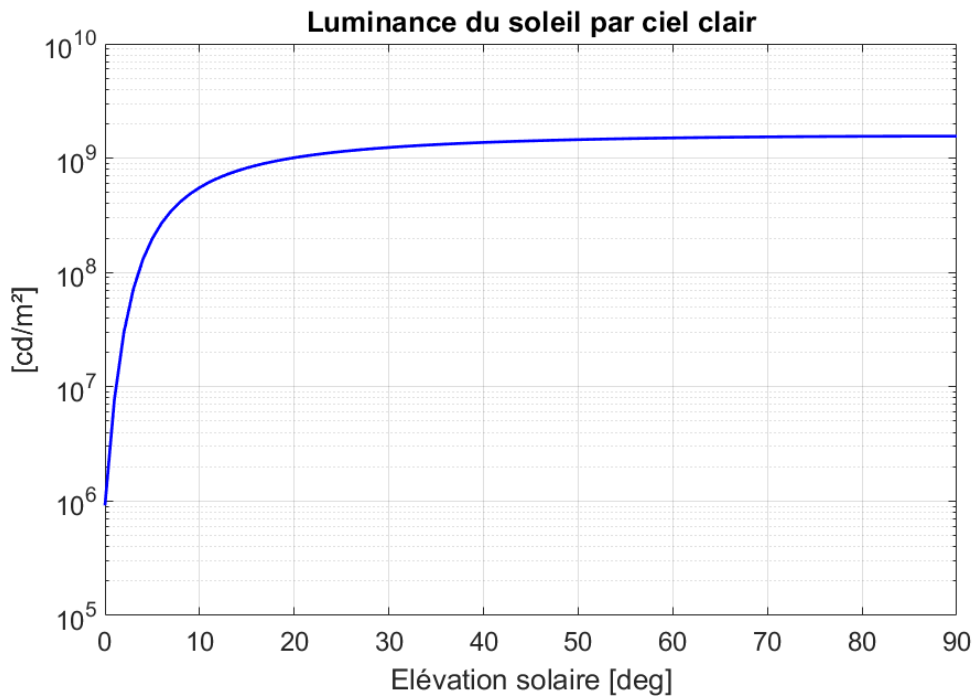
Les modules concernés utilisent une couche en verre susceptible de provoquer des cas d'éblouissement suivant l'angle d'incidence. **Il convient donc d'effectuer une analyse fine des cas potentiels d'éblouissement.**

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

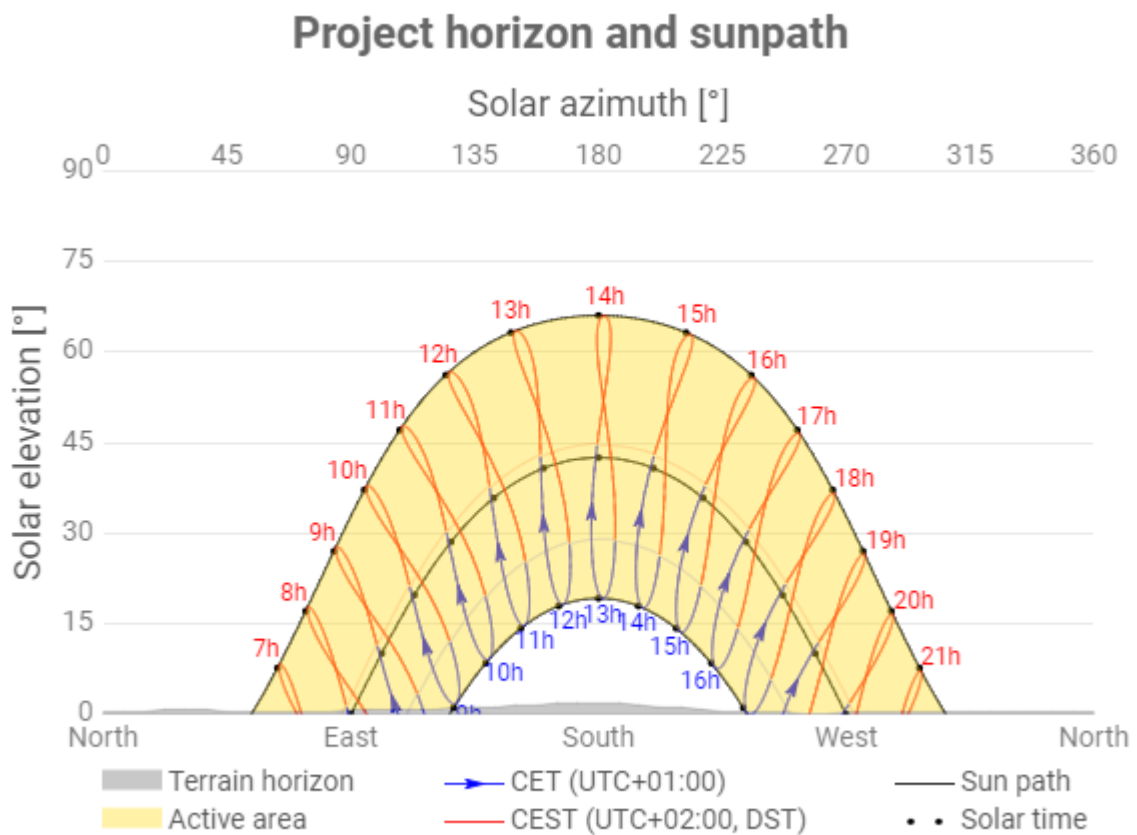
La figure suivante présente le profil de luminance (en candéla par m², cd/m²) des rayons direct du soleil avec une hypothèse de ciel parfaitement clair, et ce en fonction de l'élévation du soleil. Il est à noter que la luminance est d'environ 900 000 cd/m² au lever du soleil et culmine à 1,6 milliards de cd/m² 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 soit UTC+2) ;
- En gris est représenté le relief lointain qui est pris en compte dans l’étude de réverbération car il peut cacher les rayons directs du soleil et donc réduire les impacts identifiés.



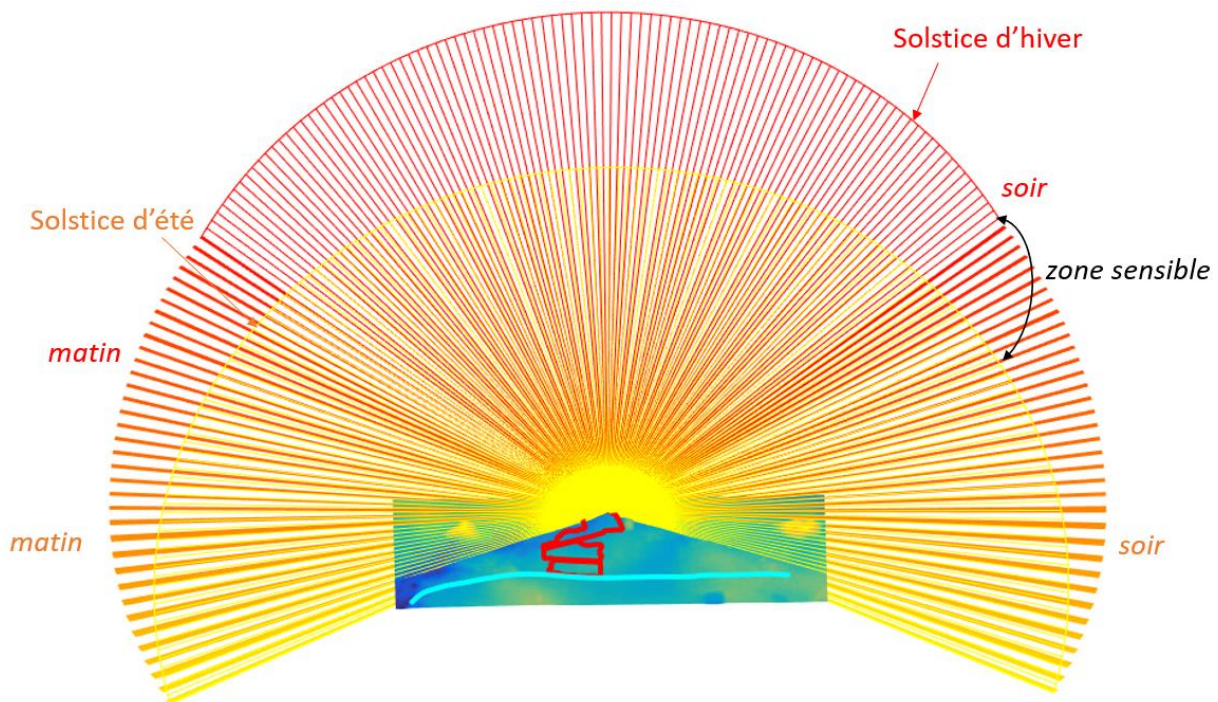
Le Controis-en-Sologne

4. ANALYSE DE L'ENVELOPPE DES RAYONS REFLECHIS

Une 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 le croisement des trajectoires et des rayons réfléchis ; reliefs proche et lointain 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).

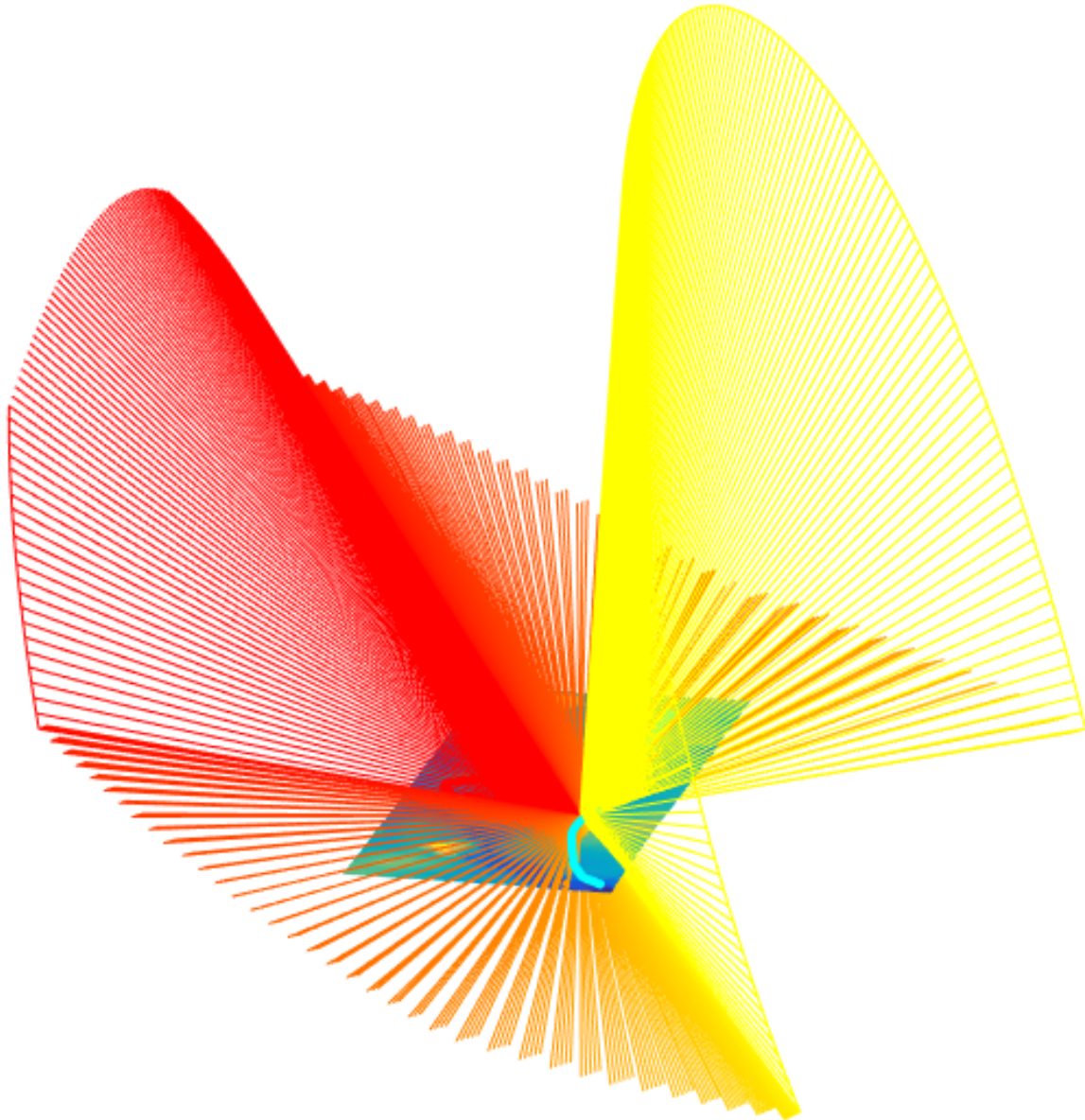
Toute personne située en dehors de la zone sensible comprise entre ces enveloppes ne sera jamais soumise à des cas d'éblouissement, comme le montre l'exemple ci-dessous pour le projet de Thenay et pour un point de réflexion au nord de l'emprise.



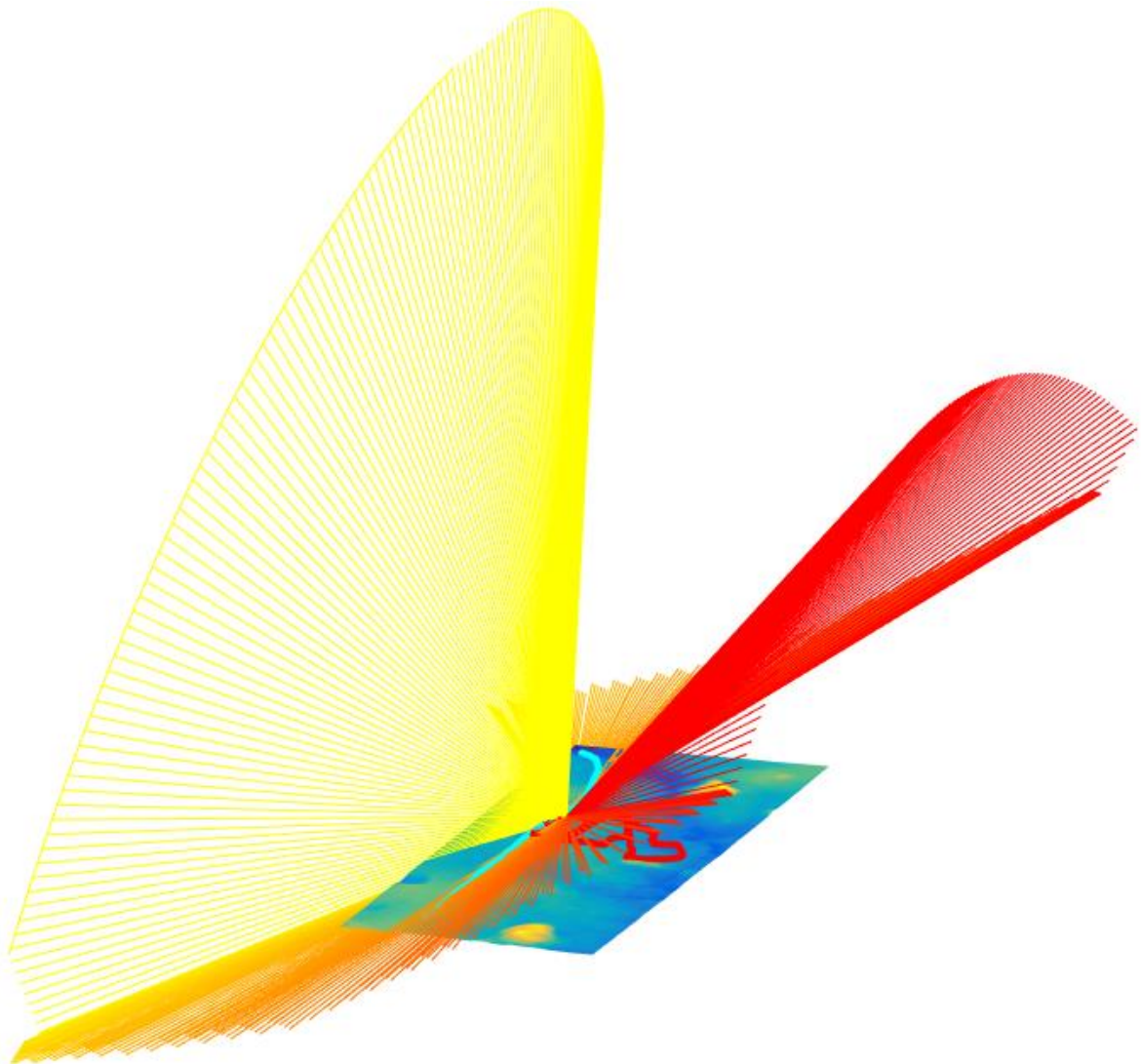
ANALYSE 3D

Les visuels suivants présentent le générateur en rouge, les trajectoires des automobilistes en cyan, et les enveloppes des rayons réfléchis pour le solstice d'été (jaune) et le solstice d'hiver (rouge), et ce pour les points de réflexion localisés aux sommets de la zone étudiée.

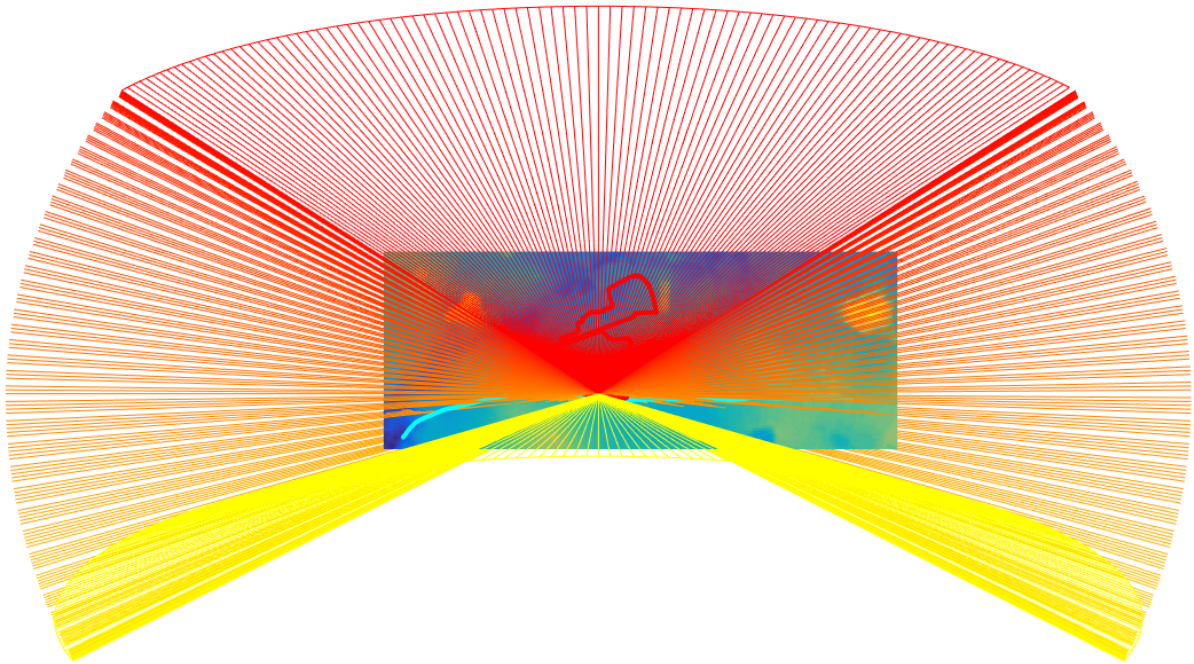
Ci-dessous, une vue de l'Ouest avec une enveloppe créée à partir d'un point de réflexion situé au Sud du projet photovoltaïque :



Ci-dessous, une vue de l'Est avec une enveloppe créée à partir d'un point de réflexion situé au Sud du projet photovoltaïque :



Ci-dessous, une des vue de dessus avec une enveloppe créée à partir d'un point de réflexion situé au Sud du projet photovoltaïque :



SYNTHESE DE L'ANALYSE 3D

L'analyse 3D effectuée pour un nombre représentatif de points de réflexion montre que :

- Les trajectoires des automobilistes sont impactées par des rayons réfléchis ; la partie suivante de l'analyse permettra d'analyser les occurrences identifiées.

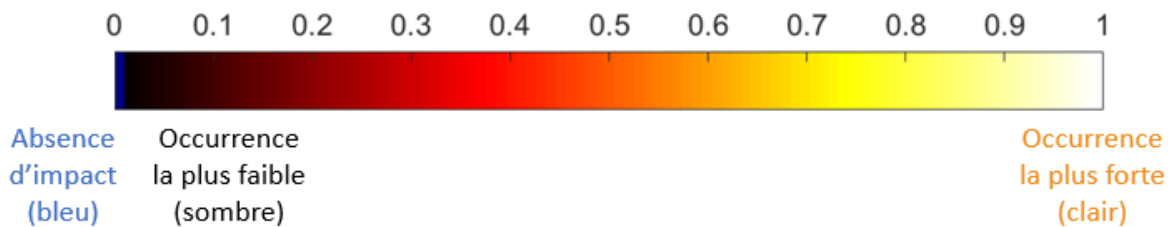
5. ANALYSE DES OCCURENCES IDENTIFIEES

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

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

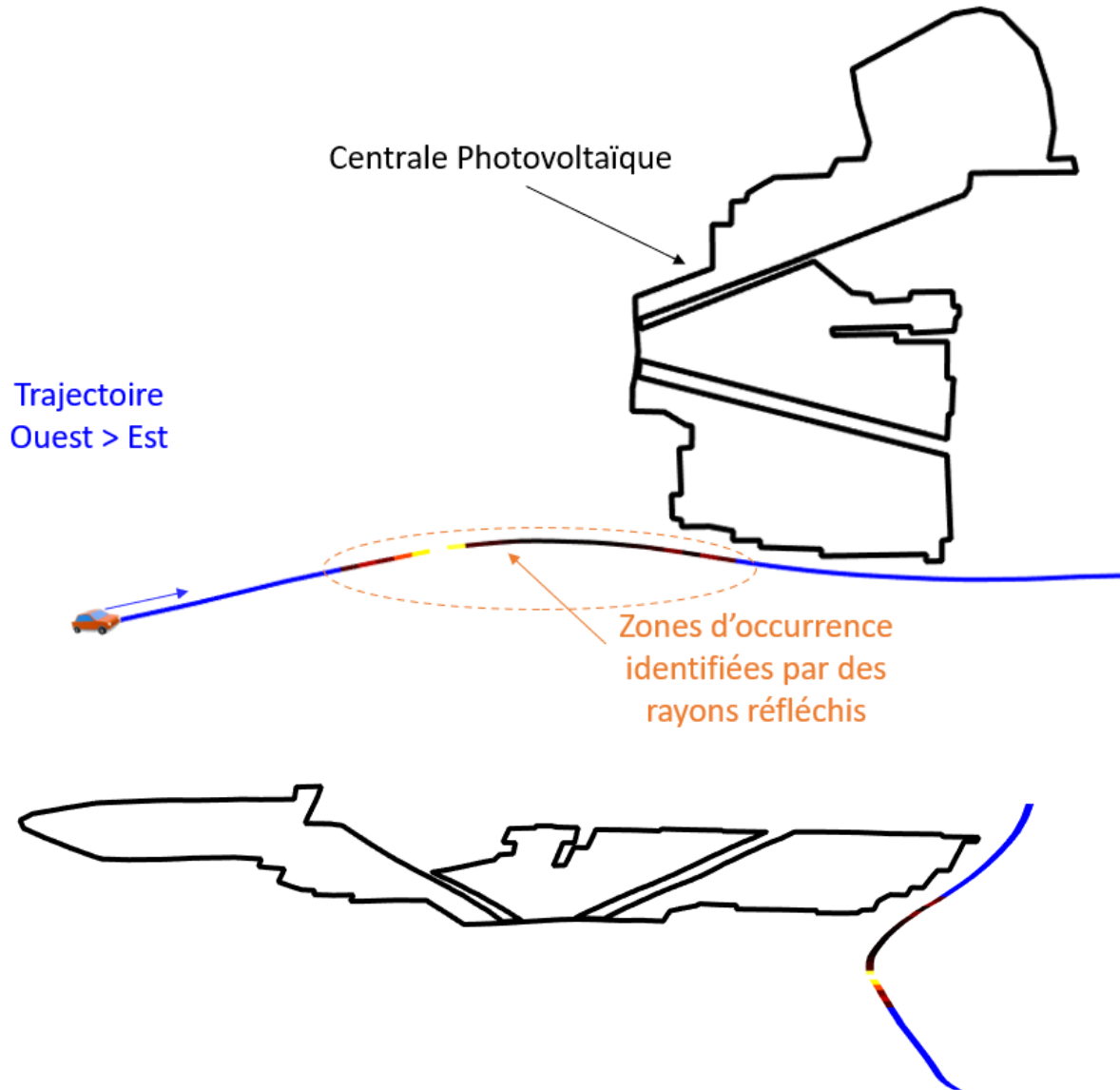
- Localisation des trajectoires impactées par des rayons réfléchis ;
- Localisation des zones du générateur photovoltaïque générant ces rayons réfléchis ;
- Datation dans l'année des impacts identifiés ;

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 (soit une absence d'impact) est indiquée en bleu.



5.1. TRAJECTOIRE DEPUIS L'OUEST

Les figures suivantes identifient pour les automobiles venant 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) en prenant en compte les masques végétaux (haies et arbres).



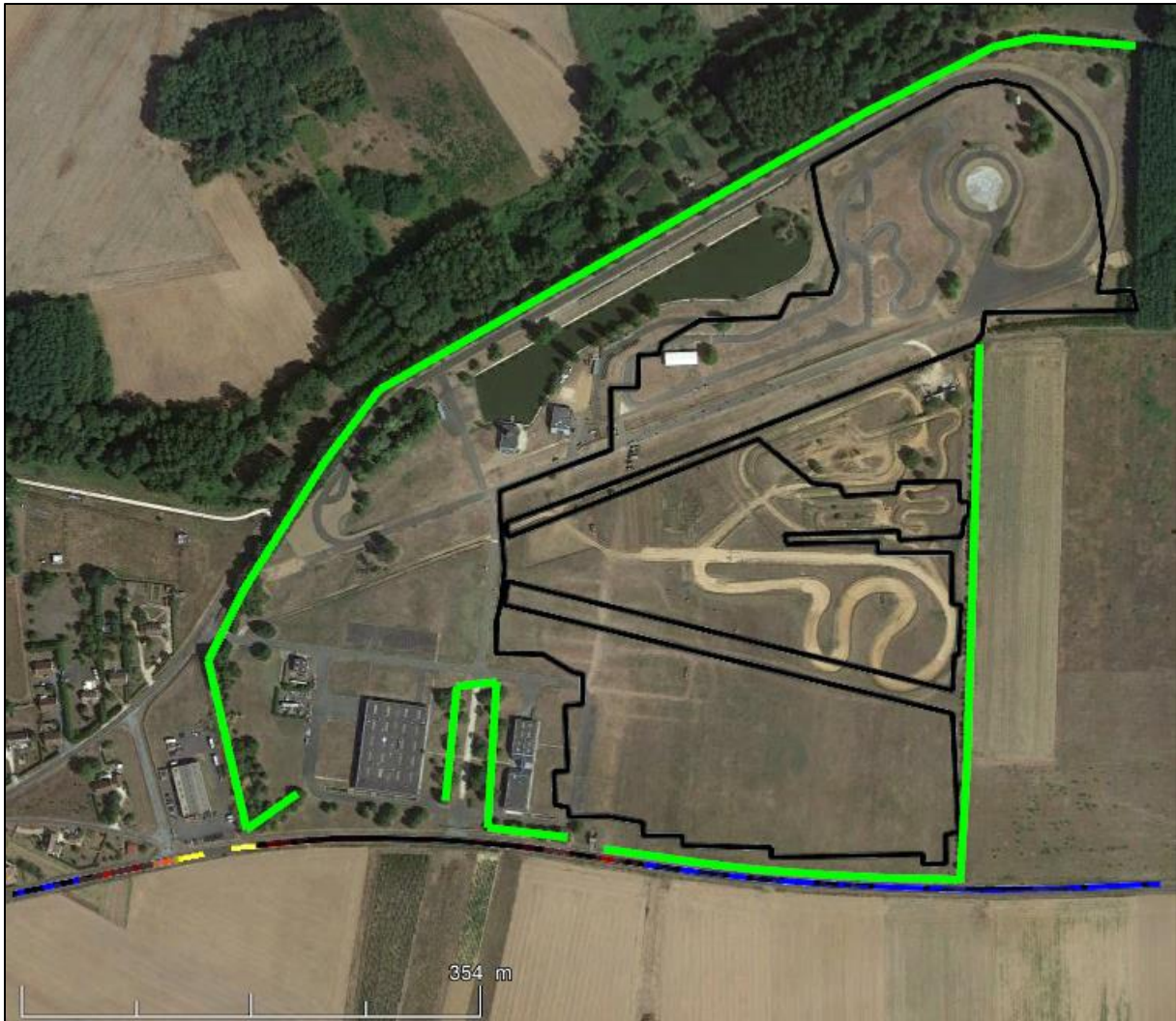
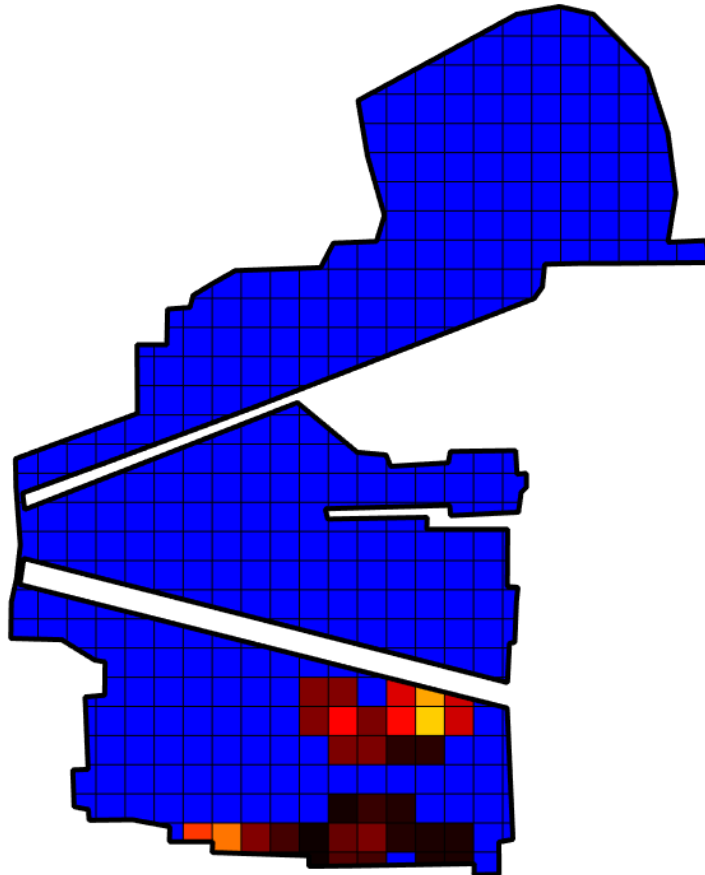


Image satellite affichant la zone d'occurrence identifiée par des rayons réfléchis pour les conducteurs provenant de l'Ouest avec la localisation des masques végétaux



Point de vue des conducteurs dans la zone d'occurrence identifiée au niveau de l'entrée de l'entreprise A.T.S

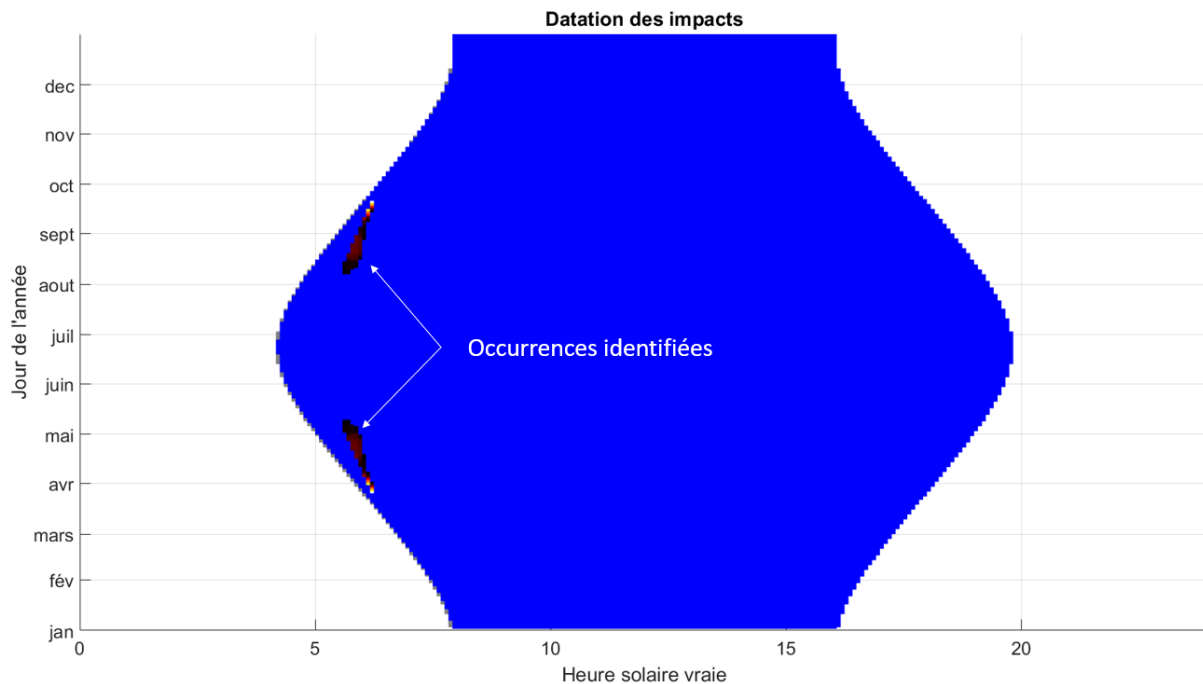
La figure suivante identifie les zones du générateur photovoltaïque qui vont générer ces rayons réfléchis. L'analyse montre qu'environ 9 % de la surface de la centrale sont à l'origine de ces impacts.



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.

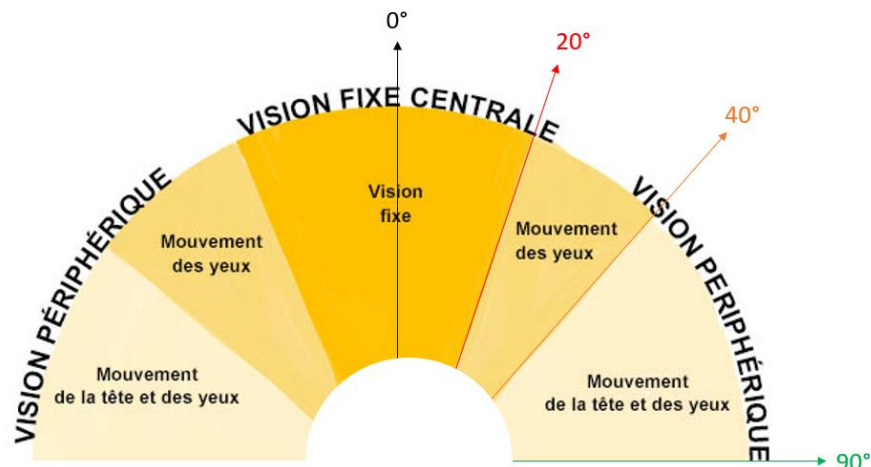


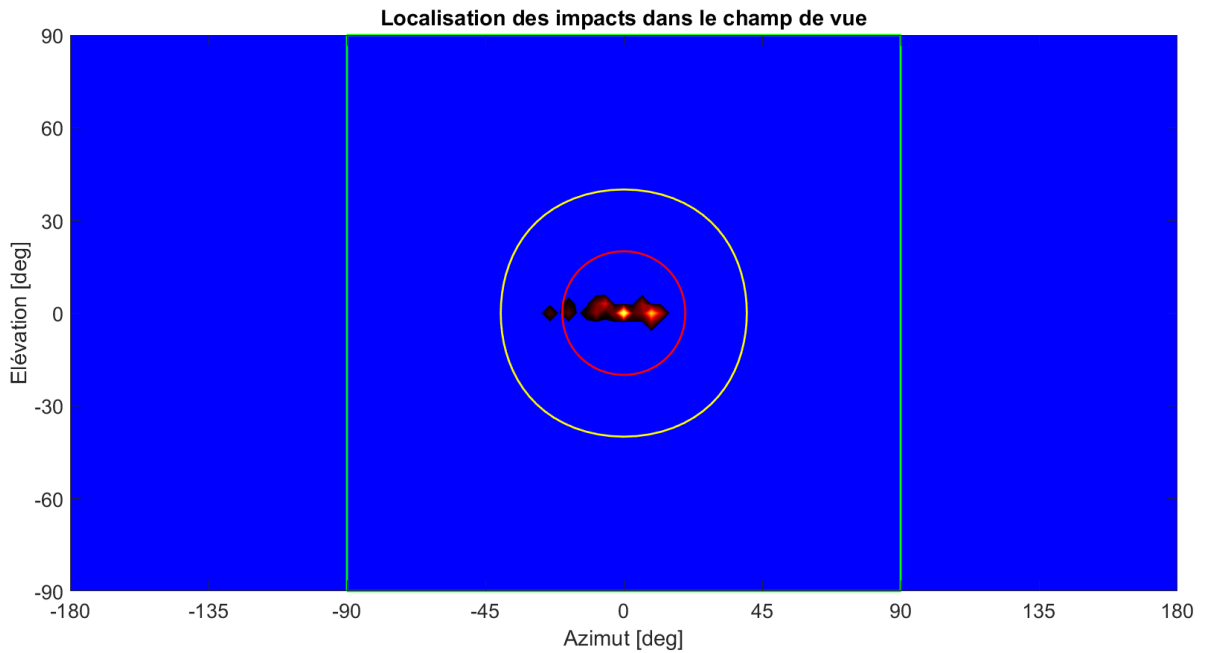
L'analyse montre que les rayons réfléchis surviennent le matin juste après le lever du jour sur deux périodes, entre fin-mars à mai, et entre août à septembre sur une durée journalière inférieure à 20 minutes.

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.



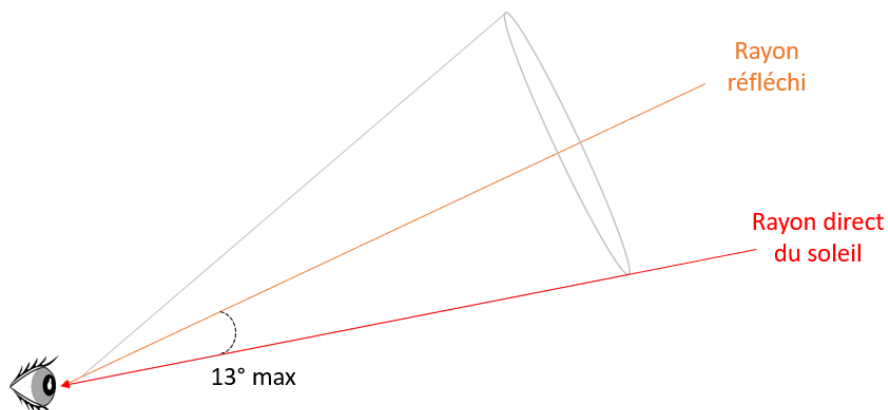


L'analyse montre que pour la trajectoire depuis l'Ouest, les rayons réfléchis arriveront dans la vision centrale des automobilistes ;

Toutefois, il est à noter que :

- La probabilité d'occurrence de l'éblouissement est faible dans la mesure où :
 - La durée est limitée dans l'année (fin-mars à mai ; et entre août et septembre) et dans la journée avec des impacts survenant pendant un laps de temps inférieur à 20 minutes (c'est-à-dire 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 comme le démontre l'analyse en dernier chapitre de cette section.

- La sévérité de l'éblouissement est très faible dans la mesure où :
 - L'angle entre les rayons réfléchis et les rayons directs du soleil est systématiquement inférieur à 13° 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 DE LA TRAJECTOIRE ETUDIEE	
Trajectoire	De l'OUEST vers l'EST
Conclusion	Probabilité et sévérité très faibles
Période	Entre fin-mars à mai ; et entre août et septembre
Heure solaire vraie	[5h30 – 6h15] ±15 min
Durée journalière	< 20 minutes
Élévation solaire	[2,3 – 9,5°]
Angle trajectoire / rayons	[0 – 26°]
Angle entre rayons réfléchis et rayons directs du Soleil	[5 – 12,5°]
Tronçon impacté	Tronçon d'environ 400 m soit environ 20 secondes à 70 km/h

5.2. TRAJECTOIRE DEPUIS L'EST

Les figures suivantes identifient pour les automobiles venant depuis l'Est les zones de la trajectoire qui seront impactées par des rayons réfléchis (sont exclus les rayons réfléchis survenant dans le dos des automobilistes) en prenant en compte les masques végétaux (haies et arbres).

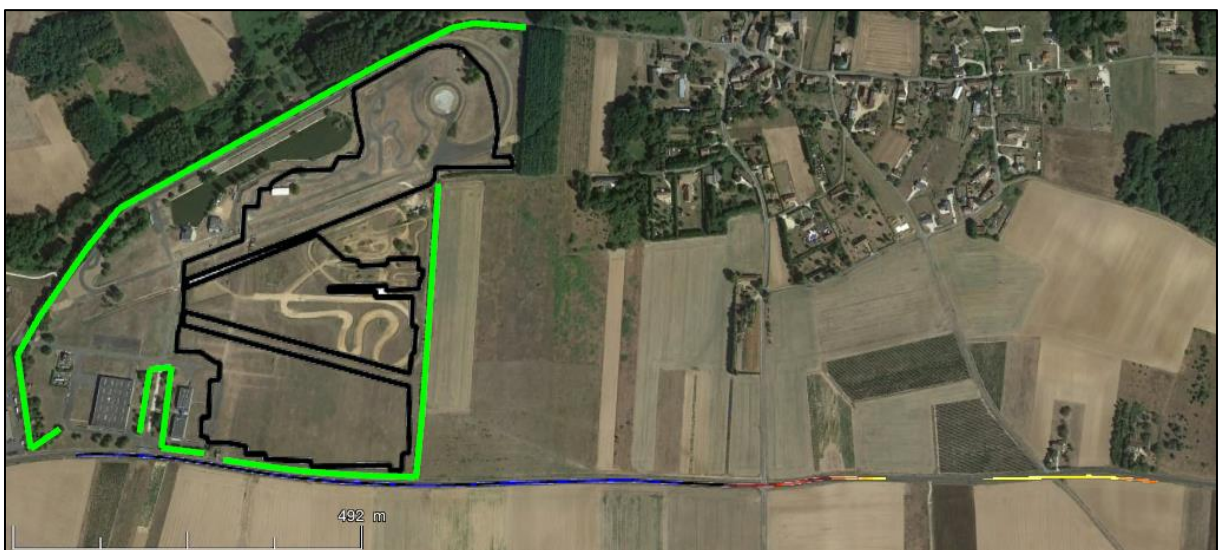
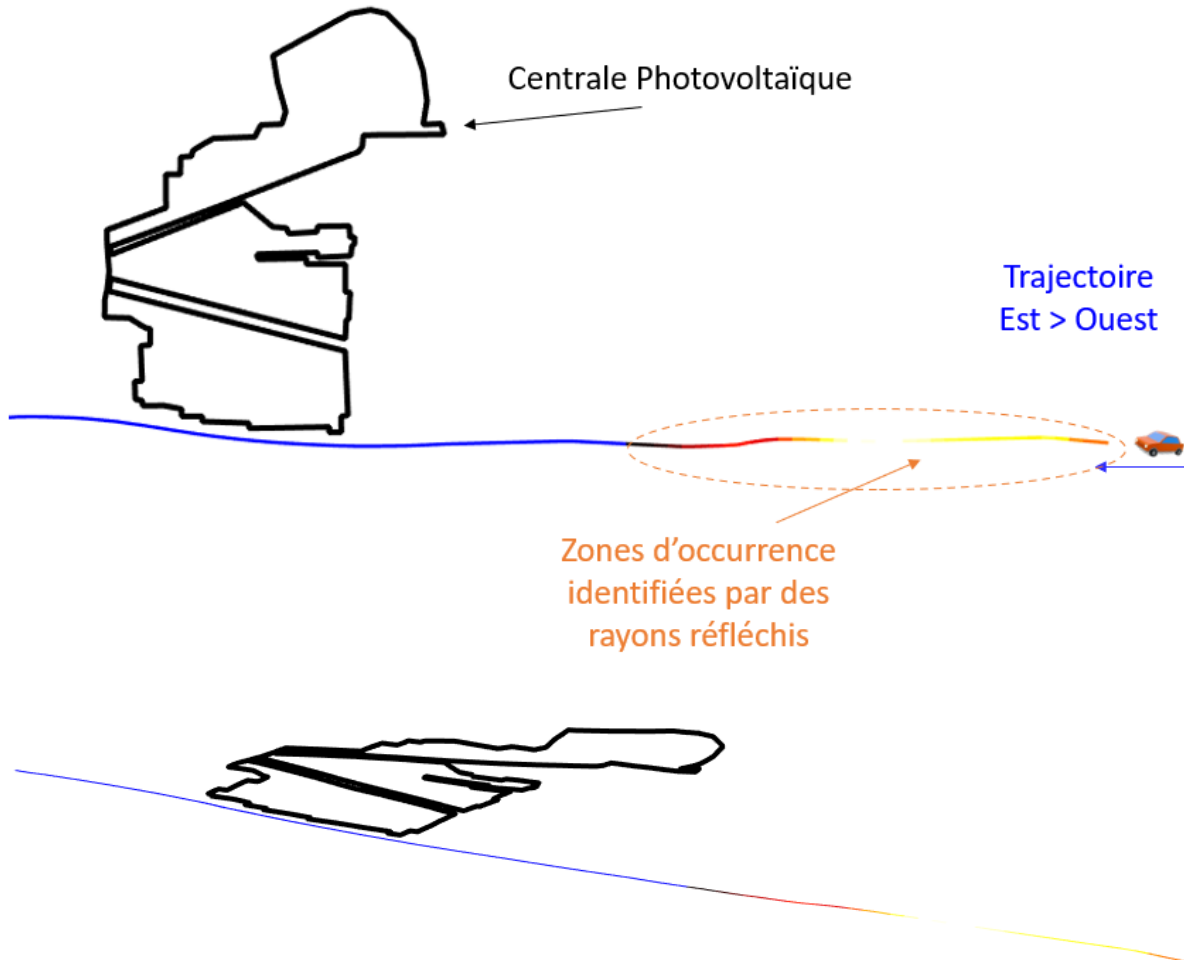


Image satellite affichant la zone d'occurrence identifiée par des rayons réfléchis pour les conducteurs provenant de l'Est avec la localisation des masques végétaux

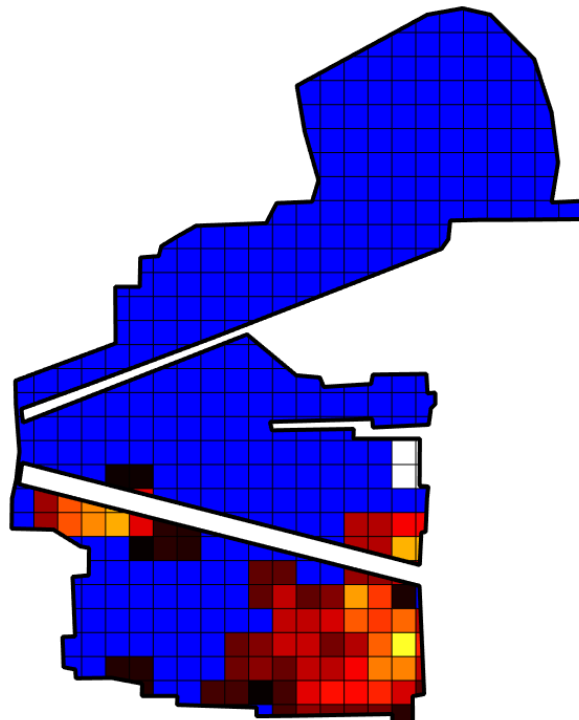


*Point de vue des conducteurs dans la zone d'occurrence identifiée
juste après l'intersection avec le chemin « les arbelets »*



*Point de vue des conducteurs dans la zone d'occurrence identifiée
au niveau de l'intersection avec le chemin « route neuve »*

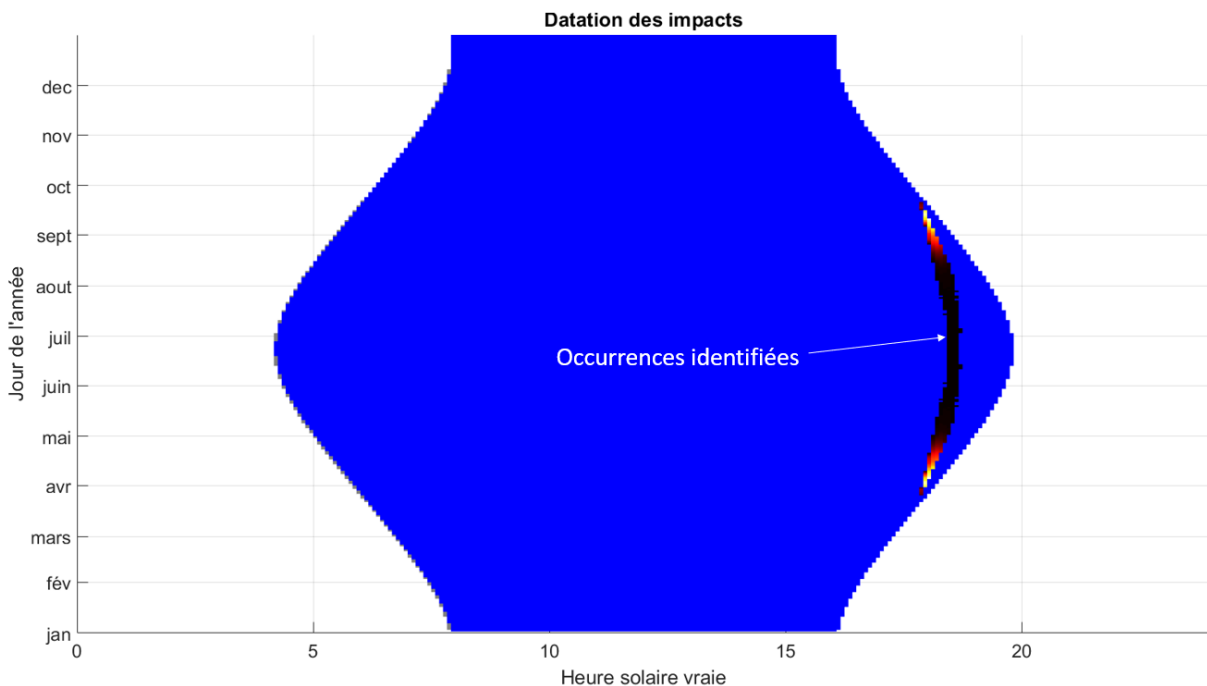
La figure suivante identifie les zones du générateur photovoltaïque qui vont générer ces rayons réfléchis. L'analyse montre qu'environ 21 % de la surface de la centrale sont à l'origine de ces impacts



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.

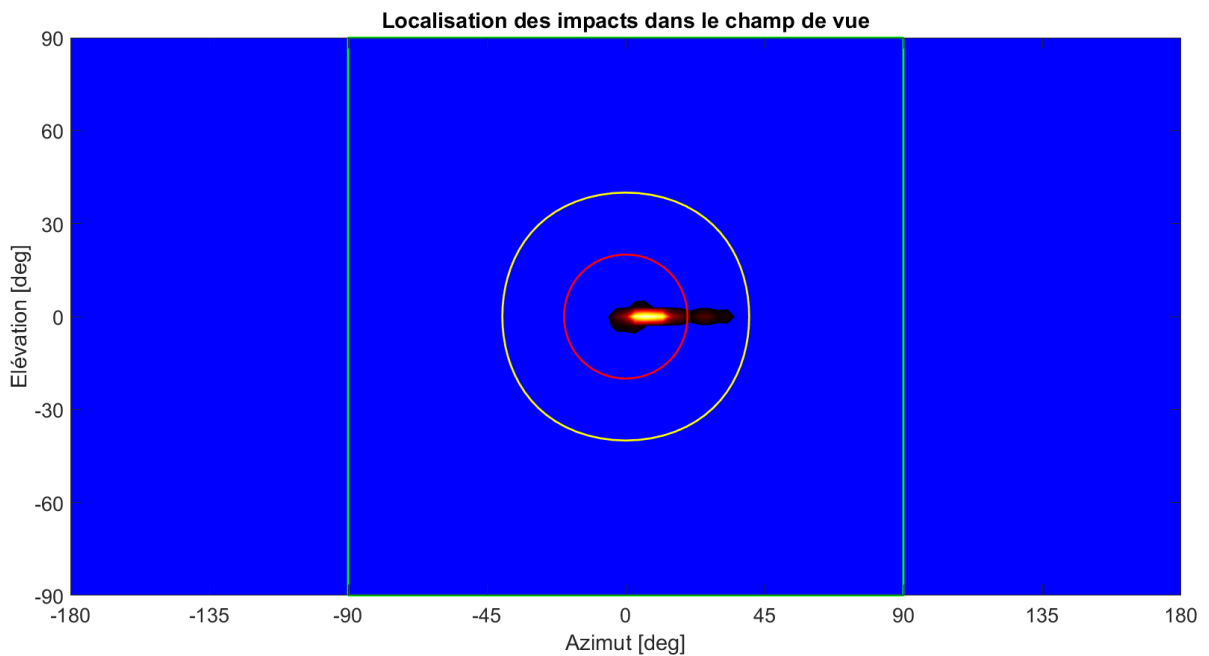
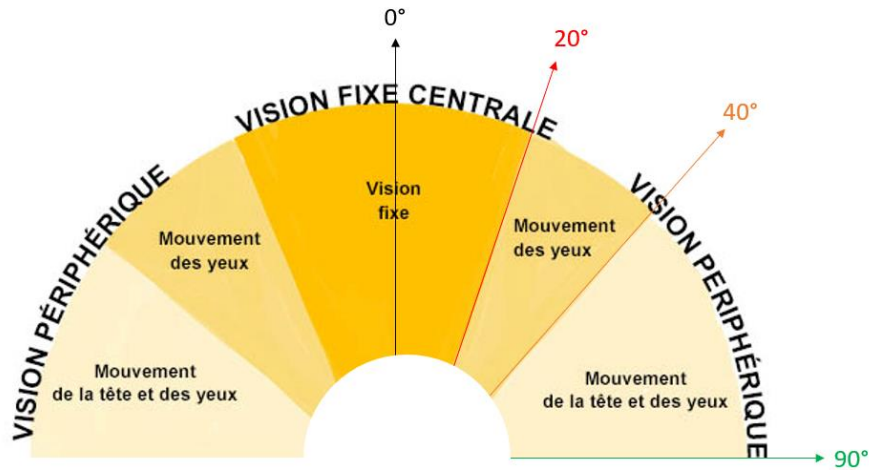


L'analyse montre que les rayons réfléchis surviennent le soir avant le coucher du soleil, entre fin-mars à septembre sur une durée journalière inférieure à 30 minutes.

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.

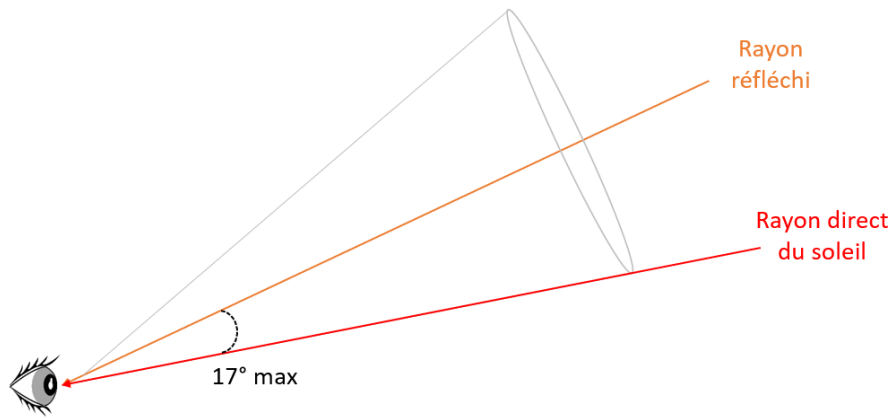


L'analyse montre que pour la trajectoire depuis l'Est, les rayons réfléchis arriveront dans la vision centrale des automobilistes ;

Toutefois, il est à noter que :

- La probabilité d'occurrence de l'éblouissement est faible dans la mesure où :
 - La durée est limitée dans l'année (fin-mars à septembre) et dans la journée avec des impacts survenant pendant un laps de temps inférieur à 30 minutes (c'est-à-dire 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 comme le démontre l'analyse en dernier chapitre de cette section.

- La sévérité de l'éblouissement est très faible dans la mesure où :
 - 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 automobilistes sont déjà éblouis par le soleil.



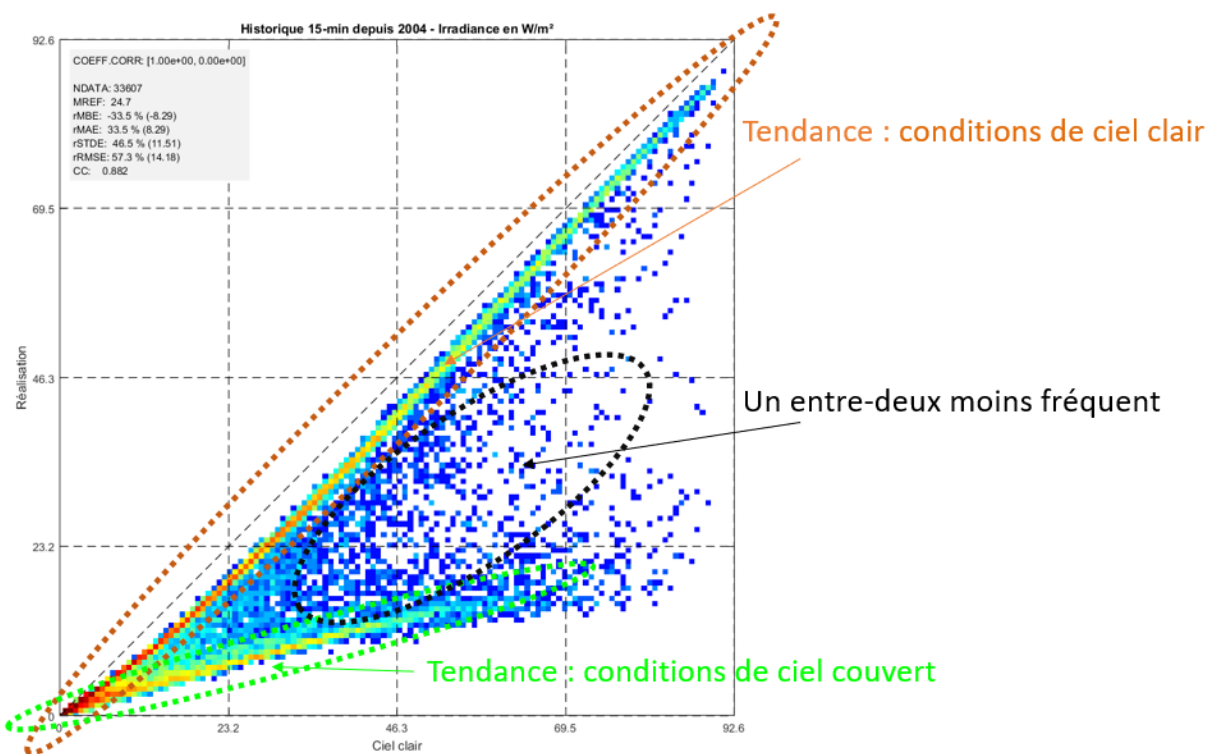
SYNTHESE DE LA TRAJECTOIRE ETUDIEE	
Trajectoire	De l'EST vers l'OUEST
Conclusion	Probabilité et sévérité très faibles
Période	Entre fin-mars à septembre
Heure solaire vraie	[17h50 – 18h45] ±15 min
Durée journalière	< 30 minutes
Élévation solaire	[2,3 – 13,8°]
Angle trajectoire / rayons	[1 – 35°]
Angle entre rayons réfléchis et rayons directs du Soleil	[5 – 16,7°]
Tronçon impacté	Tronçon d'environ 700 m soit environ 35 secondes à 70 km/h

5.3. PROBABILITE DE CIEL CLAIR

L’histogramme suivant présente pour les occurrences identifiées pour les deux trajectoires :

- En abscisse (axe horizontal), l’irradiation théorique par ciel clair, en W/m^2 , 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.



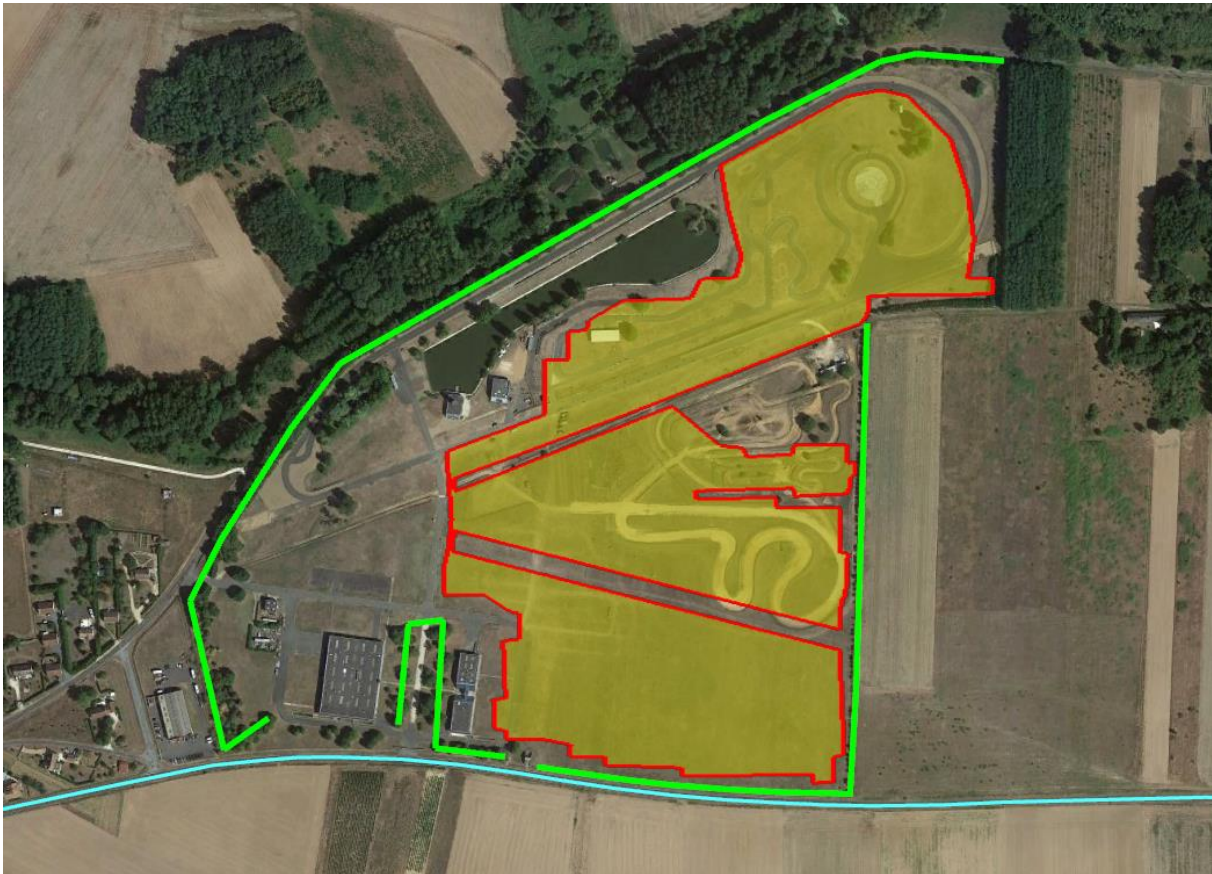
Trois tendances sont mises ainsi en avant :

- De nombreuses conditions de ciel clair (courbe supérieure) pendant lesquelles les impacts identifiés seront effectivement perçus par les conducteurs ;
- De nombreuses conditions de ciel couvert (courbe inférieure) pendant lesquelles les impacts identifiés ne seront vraisemblablement pas perçus par les conducteurs du fait des nuages ;
- Un entre-deux moins fréquent.

6. CONCLUSION

La figure suivante présente :

- En jaune l'emprise au sol du générateur ;
- En cyan la trajectoire des véhicules avec une hauteur de 1,5 m pour les conducteurs ;
- En vert les haies végétales avec en hypothèse une hauteur de 2 m pour les haies le long de la clôture du site, et de 4 m pour les arbres existants à l'alentour du site.



L'étude de réverbération montre que le générateur PV avec la configuration de tables proposée (plein Sud, inclinaison 15°) va générer un faible éblouissement pour les automobilistes. Le résumé ci-dessous présente les résultats de l'étude pour les deux sens de circulation des automobilistes présents sur la départementale D30 :

Dans le sens Ouest-Est :

- Dans leur vision centrale et sur un tronçon d'environ 400 mètres ;
- Entre fin-mars à mai et entre août à septembre ;
- Le matin peu après le lever du soleil ;
- Sur une durée journalière inférieure à 20 minutes.

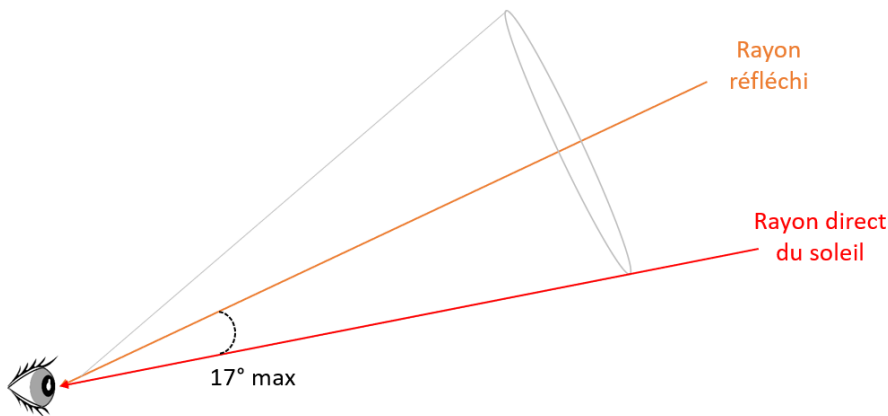
Dans le sens Est-Ouest :

- Dans leur vision centrale et sur un tronçon d'environ 700 mètres ;
- Entre fin mars et septembre ;
- Le soir peu avant le coucher du soleil ;
- Sur une durée journalière inférieure à 30 minutes.

Toutefois, il est à noter que :

- La probabilité d’occurrence de l’éblouissement est faible dans la mesure où :
 - La durée est limitée dans l’année (mi-mars à septembre) et dans la journée avec des impacts survenant pendant un laps de temps inférieur à 30 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 loin d’être toujours le cas.

- La sévérité de l’éblouissement est très faible dans la mesure où :
 - 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 automobilistes sont déjà éblouis par le soleil.



Synthèse globale :

Sens de circulation sur la D30	De l’Ouest vers l’Est	De l’Est vers l’Ouest
Conclusions	Probabilité et sévérité très faibles	