



DOSSIER DE DEMANDE DE PERMIS DE CONSTRUIRE

PROJET DE PARC PHOTOVOLTAÏQUE
« FONTANILLE »

PIECE D : ETUDES SPECIFIQUES

AOÛT 2020

COMMUNES DE :

NEGRONDES – (24)
VAUNAC – (24)



Signature et cachet du Demandeur

Signature et cachet de
La Mairie

Etude de Réverbération
Projet Photovoltaïque de Fontanille
Route Nationale RN21



29 juillet 2020 – version 3

1. SOMMAIRE

1. SOMMAIRE	2
2. PRESENTATION GENERALE	3
2.1. PRESENTATION DU DOCUMENT	3
2.2. PRESENTATION DES INTERVENANTS	3
2.3. PRESENTATION DE LA METHODOLOGIE	4
3. PRESENTATION DU PROJET ET DES ENTREES CONSIDEREES	5
3.1. PROJET	5
3.2. ROUTE	6
3.3. COURSE DU SOLEIL	7
3.4. TERRAIN	8
4. ANALYSE	9
4.1. TRAJECTOIRE DEPUIS LE NORD	10
4.2. TRAJECTOIRE DEPUIS LE SUD	16
5. REMEDIATION	21
5.1. HAIE VEGETALE	21
5.2. TRAJECTOIRE DEPUIS LE NORD	22
5.3. TRAJECTOIRE DEPUIS LE SUD	25
6. CONCLUSION	28

2. PRESENTATION GENERALE

2.1. PRESENTATION DU DOCUMENT

Ce document présente l'étude de réverbération du projet photovoltaïque Fontanille de la société RES à Négrondes (Dordogne), à proximité de la route nationale RN21. 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 et de caractériser l'éblouissement sur les automobilistes.

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



330, rue du Mourelet
 ZI de Courtine
 84 000 Avignon

Contact :

Mme Maud GAIDE – maud.gaide@res-group.com

Cabinet d'Ingénierie



55, allée Pierre Ziller
 06 560 Sophia Antipolis

Contact :

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

2.3. PRESENTATION DE LA METHODOLOGIE

La méthodologie adoptée tout au long de cette étude est la suivante :

1. Modélisation des tables photovoltaïques (orientation, inclinaison, hauteur) et des haies végétales (hauteur) et localisation à partir d'un modèle numérique de terrain.
2. Modélisation des trajectoires des véhicules.
3. Modélisation de la course du Soleil avec prise en compte des ombrages lointains (relief) afin de déterminer le champ des possibles des rayons directs du soleil.
4. Simulation afin de déterminer les intersections entre 1/ les rayons réfléchis (du soleil sur les tables photovoltaïques) et 2/ les trajectoires des véhicules ; ces intersections constituent des occurrences potentielles d'éblouissement.
5. Caractérisation de l'occurrence de ces impacts dans l'année et sur les trajectoires étudiées et dans le champ de vue des conducteurs.

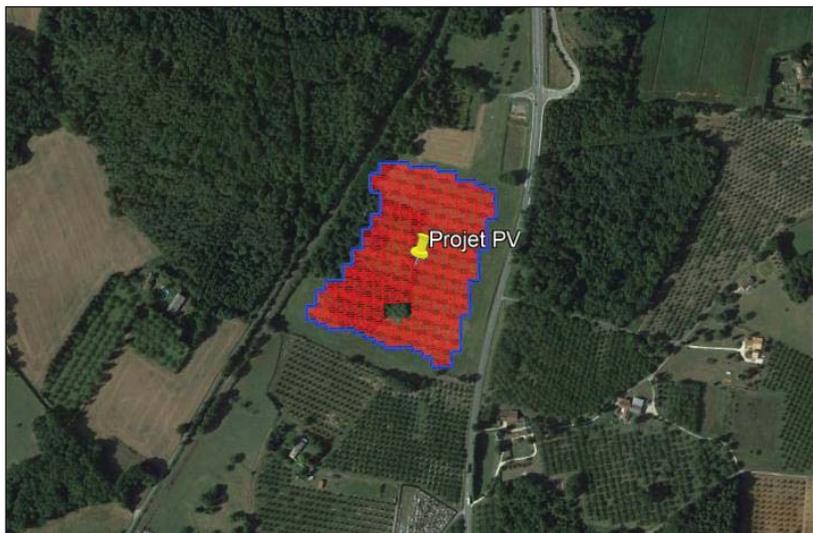
Ces résultats doivent être considérés à l'aune des différentes incertitudes propres à la problématique de la réverbération PV : trajectoires des véhicules, topographie de l'implantation, relief lointain, etc. Des marges d'incertitude ont ainsi été considérées dans les simulations afin que les résultats soient représentatifs de la réalité.

Enfin, il est à noter qu'en l'absence de générateur photovoltaïque, les conducteurs peuvent aujourd'hui être déjà éblouis lorsque le soleil n'est caché ni par un nuage ni par le relief lointain. La présente étude vise donc à déterminer quelles sont les occurrences supplémentaires qu'apporterait le projet photovoltaïque.

3. PRESENTATION DU PROJET ET DES ENTREES CONSIDEREES

3.1. PROJET

Le projet photovoltaïque (PV) Fontanille de la société RES consiste à réaliser une centrale au sol fixe (sans solution de suivi du soleil), à Négrondes (Dordogne), à proximité de la route nationale RN21, comme indiqué sur la figure suivante.



Le tableau suivant détaille les caractéristiques du générateur photovoltaïque :

Azimet	Inclinaison	Hauteur min	Hauteur max	Emprise au sol
180° (Sud)	20°	+1,0 m	+2,5 m	~ 5 ha

3.2. ROUTE

Deux trajectoires ont été étudiées : l'une depuis le Sud (trajet A1>A2) et l'autre depuis le Nord (trajet B1>B2). La hauteur des conducteurs a été prise égale à 2 m, juste milieu entre des voitures et des camions.

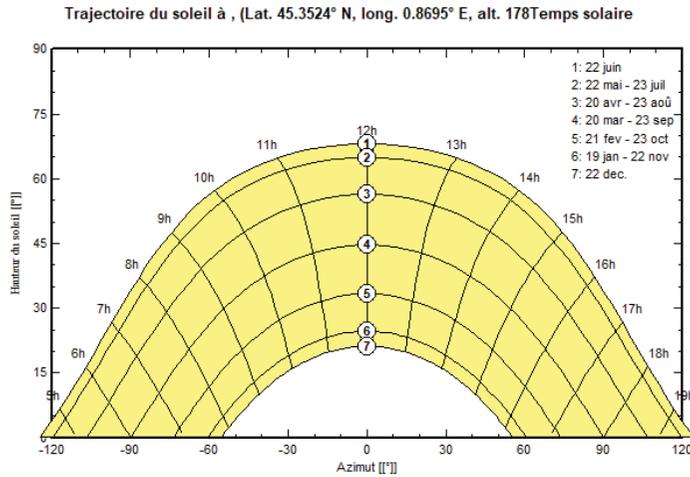
Hauteur des conducteurs	2,0 m
-------------------------	-------



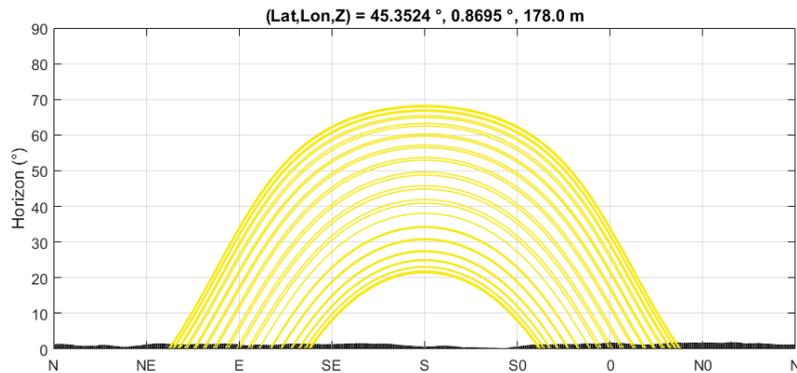
3.3. COURSE DU SOLEIL

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.

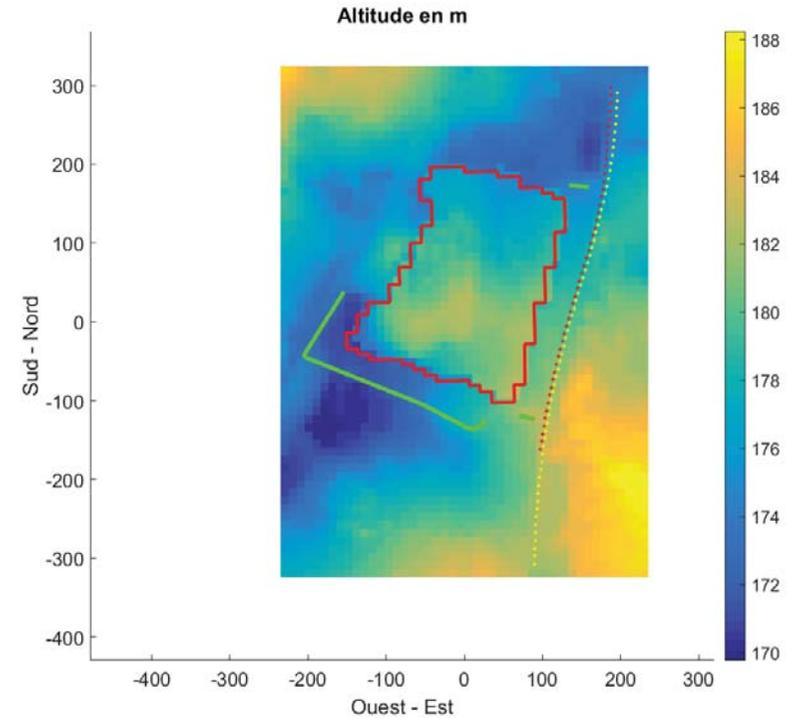


Le relief lointain observé à l'emplacement de l'installation photovoltaïque doit être pris en compte dans l'étude de réverbération. En effet, un relief important peut cacher les rayons directs du soleil et donc limiter les rayons réfléchis sur les modules photovoltaïques. La figure suivante représente la course du Soleil ainsi que le relief lointain considéré, en noir.



3.4. TERRAIN

Un modèle numérique de terrain avec une maille de 5 m a été utilisé pour cette étude. Le générateur est représenté en rouge, les trajectoires des automobilistes en rouge et jaune et les haies végétales en vert. Le dégradé de couleur correspond à l'altitude du terrain en mètres.



Les haies considérées dans cette étude sont celles déjà existantes dont les caractéristiques (localisation, hauteur, photos) ont été communiquées par le client. Le tableau suivant présente la hauteur des haies végétales considérées.

Hauteur des haies
16 m

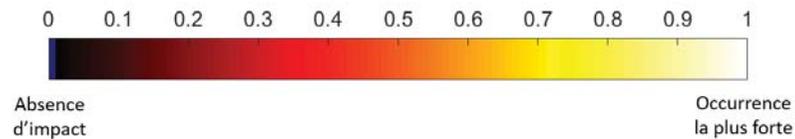
4. ANALYSE

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 :

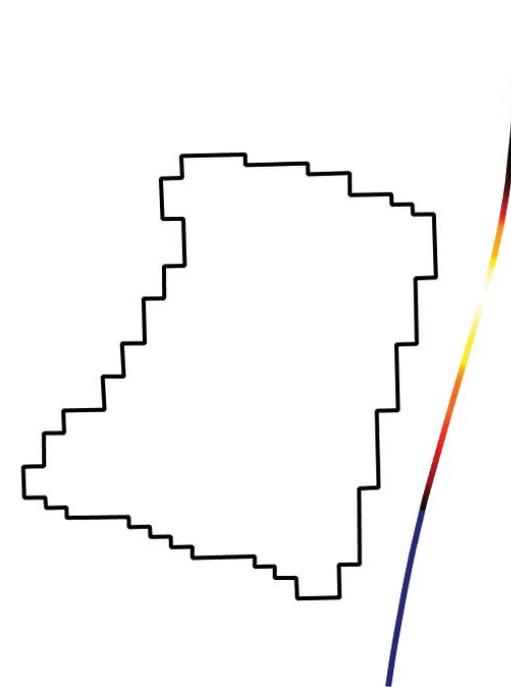
- Localisation des trajectoires impactées par des rayons réfléchis ;
- Localisation des zones du générateur photovoltaïque générant ces rayons réfléchis ;
- Datation dans l'année des impacts identifiés ;
- Localisation des rayons réfléchis dans le champ de vue des automobilistes.

Un même code couleur est utilisé pour chacun de ces quatre visuels : 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.

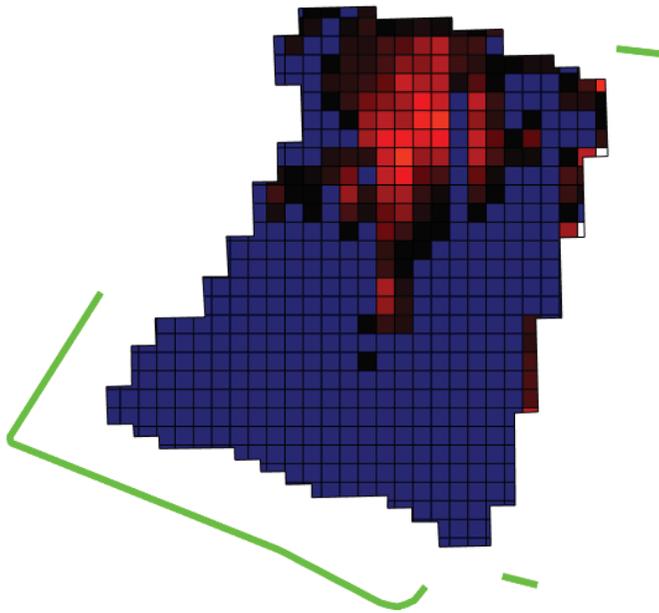


4.1. TRAJECTOIRE DEPUIS LE NORD

Les figures suivantes identifient les zones des trajectoires qui seront impactées par des rayons réfléchis (270 m cumulés, soit environ 12 secondes à 80 km/h).



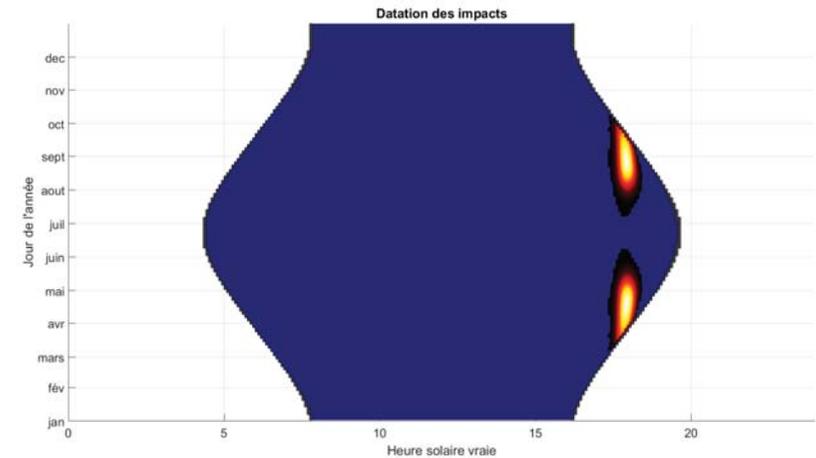
La figure suivante identifie les zones du générateur photovoltaïque qui vont générer ces rayons réfléchis. L'analyse montre que 31 % de la surface génère des impacts.



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.

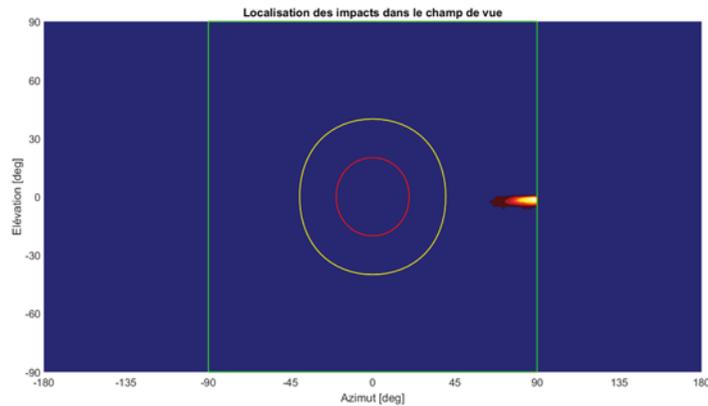
Les bords de la zone bleue correspondent aux lever et coucher du soleil, la forme rebondie traduisant le fait que la durée du jour est plus longue en été qu'en hiver.



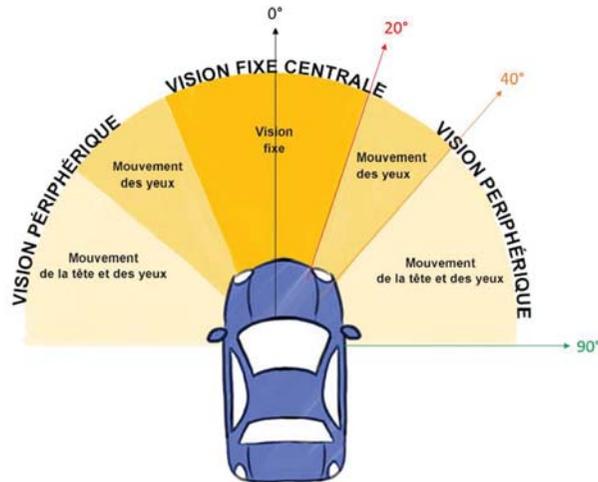
L'analyse montre que les rayons réfléchis surviennent le soir, entre début mars et début juin ainsi qu'entre début juillet et début octobre, sur une durée journalière inférieure à 65 minutes.

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.

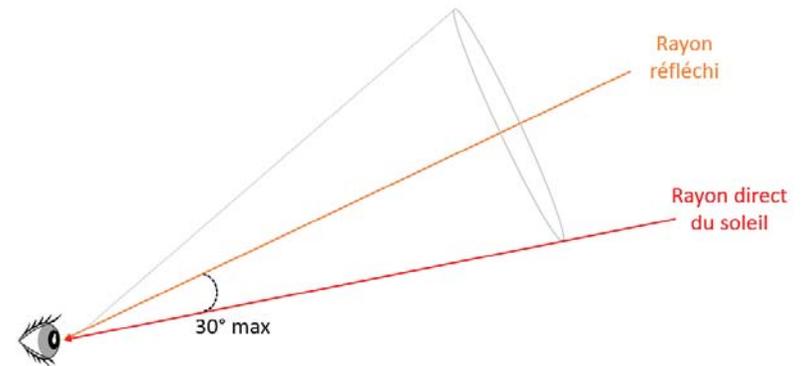


L'analyse montre que les rayons réfléchis arriveront sur la droite des conducteurs, dans leur vision périphérique (> 64°) lorsqu'ils seront à la hauteur du générateur, si bien que le risque d'éblouissement n'est pas nul.

Toutefois, il est à noter que la probabilité d'occurrence de l'éblouissement est faible car la durée est limitée dans la journée avec des impacts survenant pendant un laps de temps inférieur à 65 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 10 heures ;

Enfin, la sévérité de l'éblouissement est faible dans la mesure où :

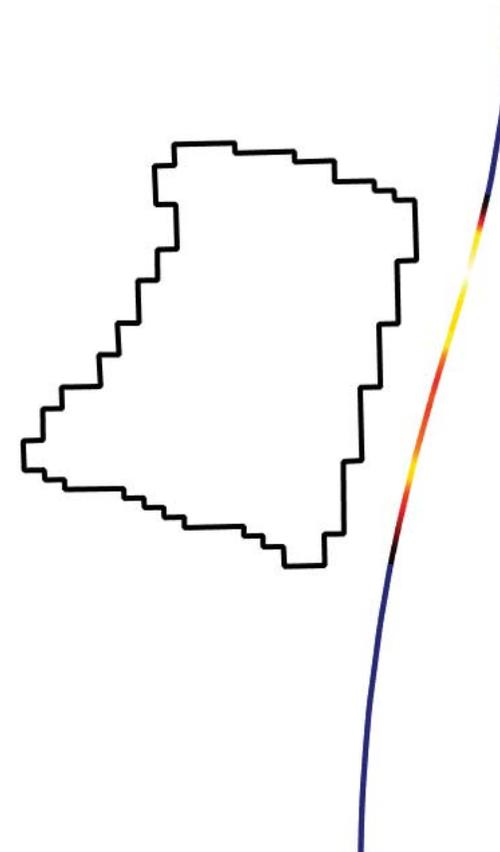
- L'éblouissement intervient dans la vision périphérique des conducteurs, sous un angle supérieur à 64° si bien que les conducteurs doivent bouger la tête et les yeux pour être éblouis ;
- L'angle entre les rayons réfléchis et les rayons directs du soleil est comprise entre 0 et 30° si bien qu'aujourd'hui, en l'absence de générateur photovoltaïque et pour ces mêmes instants, les conducteurs sont déjà éblouis par le soleil.



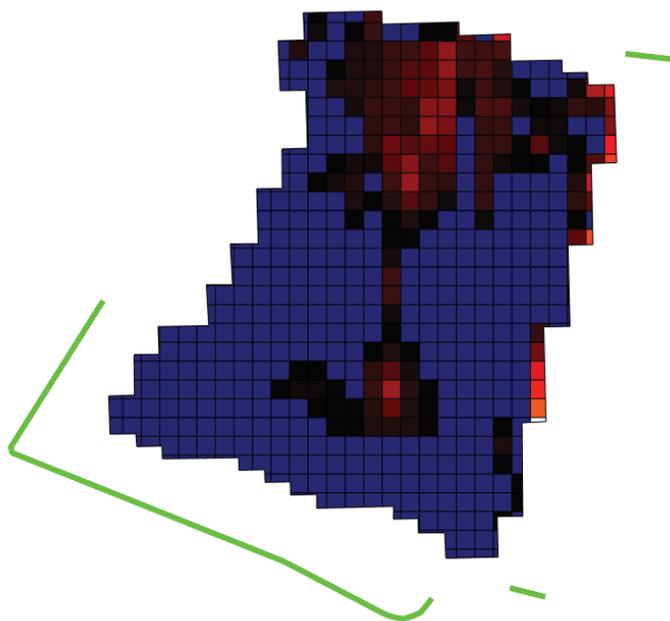
SYNTHESE DU CAS ETUDIE	
Trajectoire	Depuis le NORD
Conclusion	Risque d'éblouissement Probabilité et sévérité faible
Période	Entre début mars et début juin ainsi qu'entre début juillet et début octobre
Heure solaire vraie	[17h20 – 18h25]
Durée journalière	< 65 minutes
Surface impactante	31 %
Luminance	> 9,3*10 ⁷ cd/m ²
Élévation solaire	[1,6 – 19,2°]
Angle trajectoire / rayons	> 64°
Angle rayons directs / rayons réfléchis	[0 – 29,5°]

4.2. TRAJECTOIRE DEPUIS LE SUD

Les figures suivantes identifient les zones des trajectoires qui seront impactées par des rayons réfléchis (270 m cumulés, soit environ 12 secondes à 80 km/h).



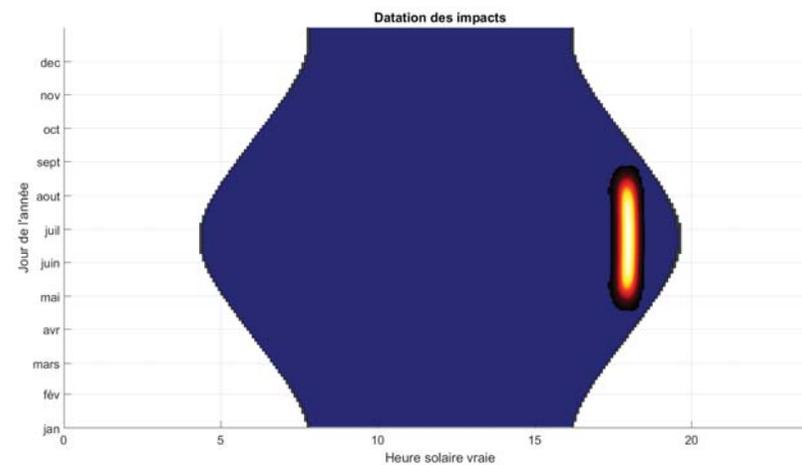
La figure suivante identifie les zones du générateur photovoltaïque qui vont générer ces rayons réfléchis. L'analyse montre que 33 % de la surface génère des impacts.



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.

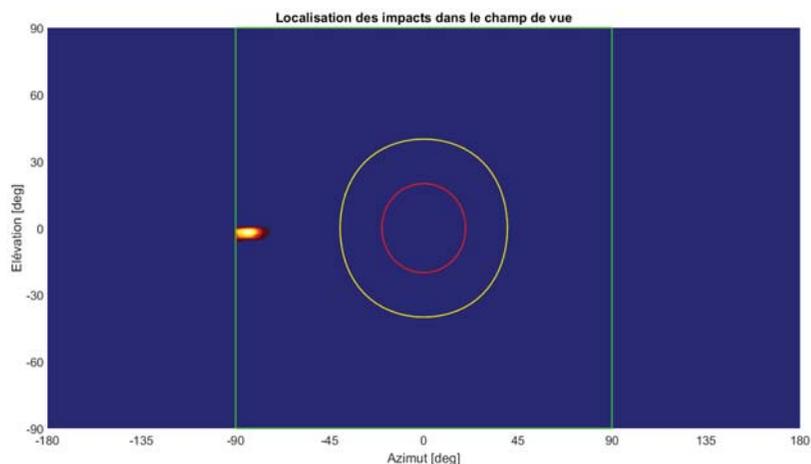
Les bords de la zone bleue correspondent aux lever et coucher du soleil, la forme rebondie traduisant le fait que la durée du jour est plus longue en été qu'en hiver.



L'analyse montre que les rayons réfléchis surviennent le soir, entre mi-avril et fin août, sur une durée journalière inférieure à 75 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).



L'analyse montre que les rayons réfléchis arriveront sur la gauche des conducteurs, dans leur vision périphérique ($> 74^\circ$) lorsqu'ils seront à la hauteur du générateur, si bien que le risque d'éblouissement n'est pas nul.

Toutefois, il est à noter que la probabilité d'occurrence de l'éblouissement est faible car la durée est limitée dans la journée avec des impacts survenant pendant un laps de temps inférieur à 75 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 10 heures ;

Enfin, la sévérité de l'éblouissement est faible dans la mesure où :

- L'éblouissement intervient dans la vision périphérique des conducteurs, sous un angle supérieur à 74° si bien que les conducteurs doivent bouger la tête et les yeux pour être éblouis ;
- L'angle entre les rayons réfléchis et les rayons directs du soleil est comprise entre 0 et 35° si bien qu'aujourd'hui, en l'absence de générateur photovoltaïque et pour ces mêmes instants, les conducteurs sont déjà éblouis par le soleil.

SYNTHESE DU CAS ETUDIE	
Trajectoire	Depuis le SUD
Conclusion	Risque d'éblouissement Probabilité et sévérité faible
Période	Entre mi-avril et fin août
Heure solaire vraie	[17h25 – 18h30]
Durée journalière	< 75 minutes
Surface impactante	33 %
Luminance	$> 3,1 \cdot 10^8$ cd/m ²
Élévation solaire	[4,1 – 22,4°]
Angle trajectoire / rayons	$> 74^\circ$
Angle rayons directs / rayons réfléchis	[0 – 34,5°]

5. REMEDIATION

5.1. HAIE VEGETALE

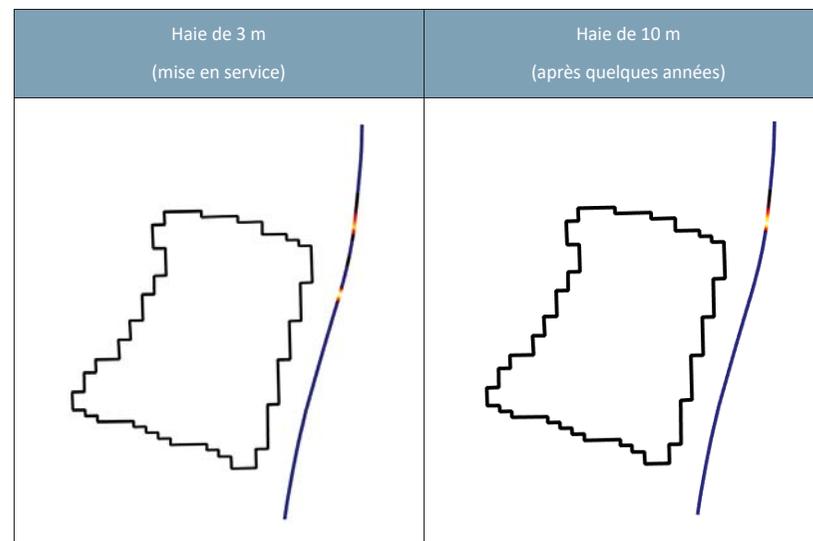
Dans le cadre du projet, il est prévu d'installer une haie végétale le long de la route nationale au niveau du générateur ainsi qu'au Nord du générateur, au niveau du poste de transformation (respectivement en bleu clair et violet dans la figure ci-après). Ces haies auront pour conséquence de limiter tout ou partie de l'éblouissement, en fonction de leur hauteur pour lesquelles différentes valeurs sont étudiées :

- Le long de la route :
 - Hauteur de 3 m à la mise en service du générateur ;
 - Hauteur de 10 m après quelques années de pousse.
- Le long du poste de transformation :
 - Hauteur de 3 m.

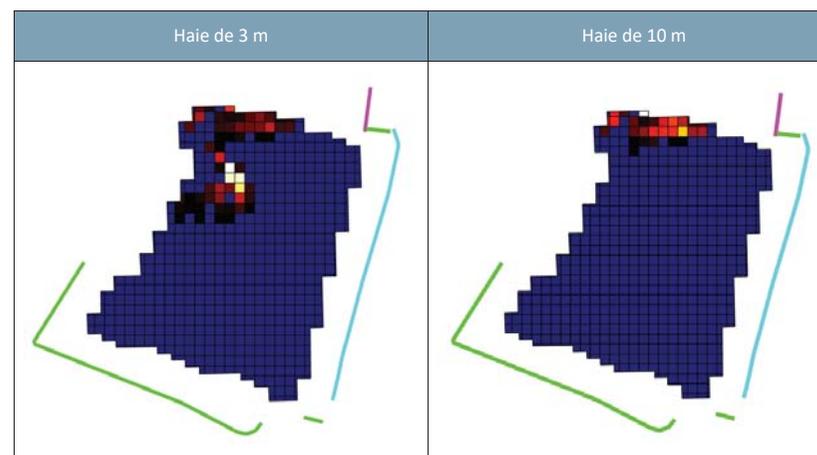


5.2. TRAJECTOIRE DEPUIS LE NORD

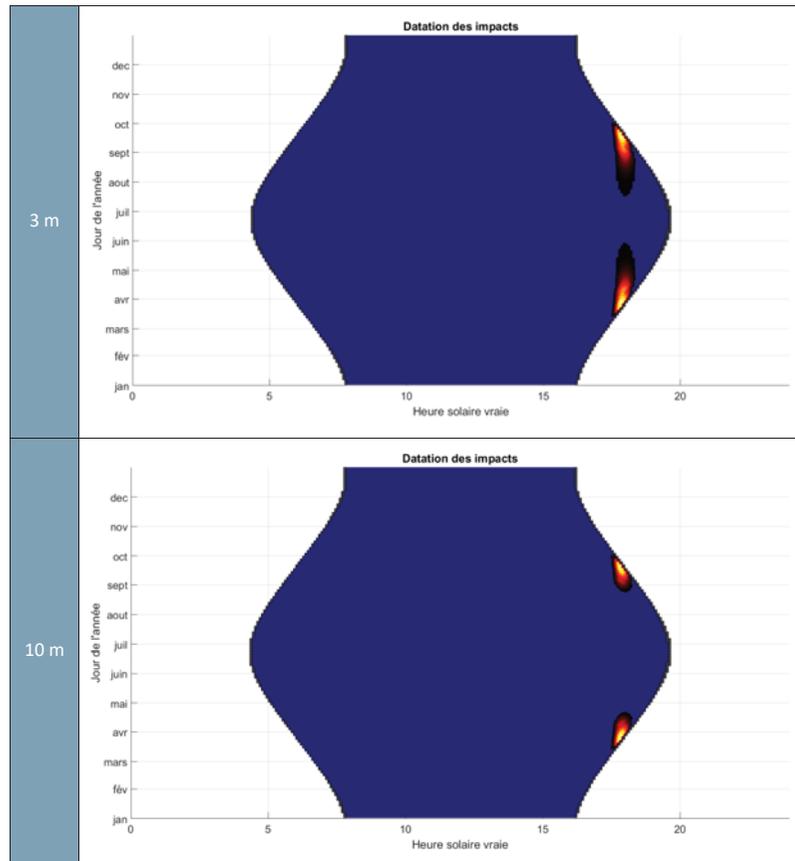
Les figures suivantes identifient les zones de la trajectoire qui, malgré ces nouvelles haies végétales, sera impactée par des rayons réfléchis (au plus 70 m cumulés après quelques années de pousse, soit moins de 4 secondes à 80 km/h).



La figure suivante identifie les zones du générateur photovoltaïque qui vont générer ces rayons réfléchis. L'analyse montre qu'au plus 11 % de la surface génère des impacts.

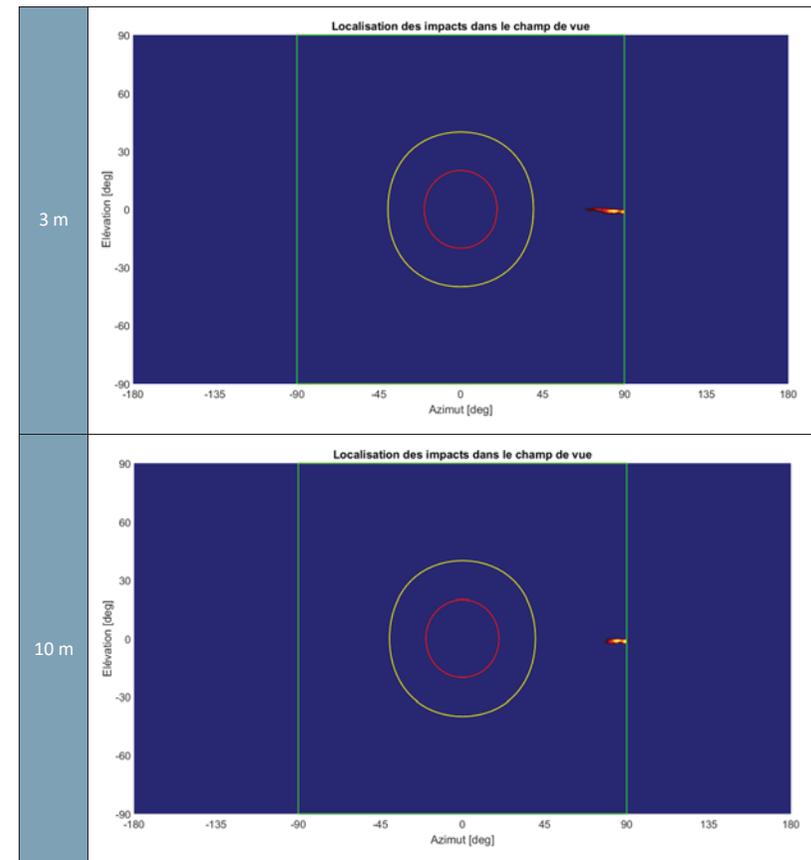


La figure suivante présente tout au long de l'année la datation des impacts identifiés :



L'analyse montre que les rayons réfléchis surviennent le soir, entre début mars et fin mai ainsi qu'entre mi-juillet et début octobre, sur une durée journalière inférieure à 45 minutes.

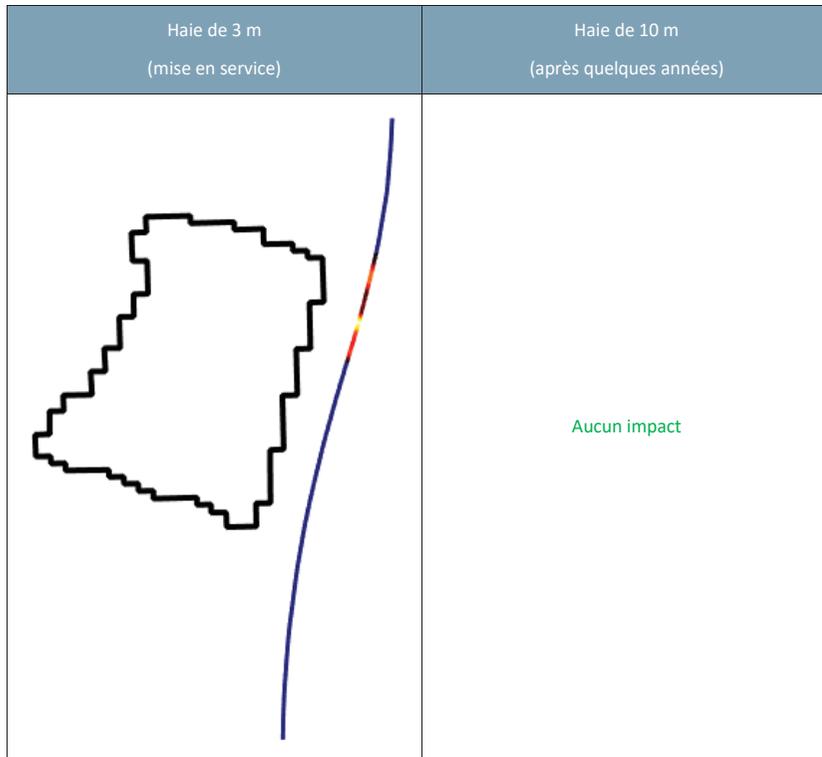
La figure suivante présente la localisation des rayons réfléchis dans le champ de vue des automobilistes.



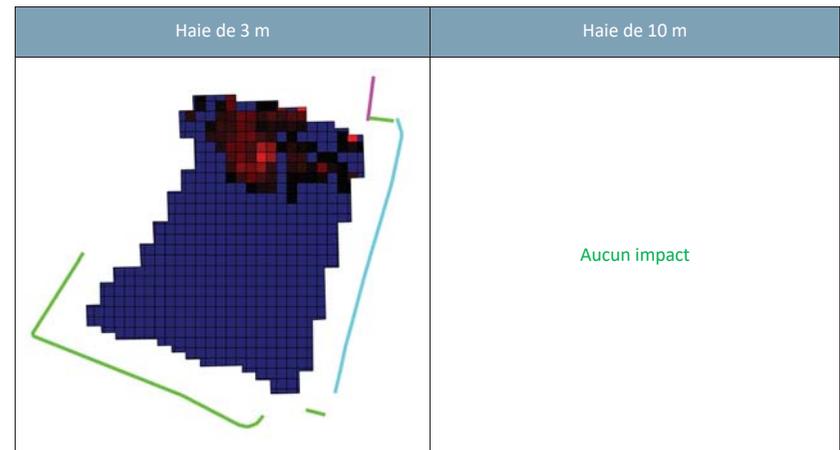
L'analyse montre que les rayons réfléchis arriveront sur la droite des conducteurs, dans leur vision périphérique (> 68°) lorsqu'ils seront à la hauteur du générateur, si bien que le risque d'éblouissement restera présent, même après quelques années de pousse.

5.3. TRAJECTOIRE DEPUIS LE SUD

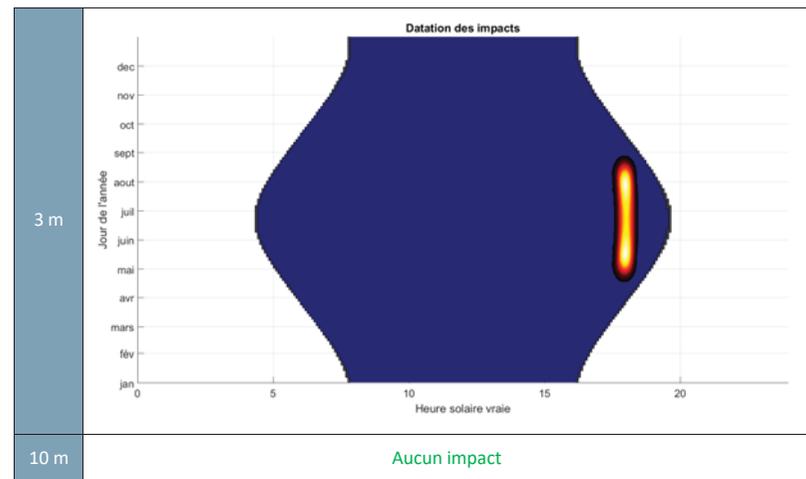
Les figures suivantes identifient les zones des trajectoires qui, malgré cette nouvelle haie végétale, seront impactées par des rayons réfléchis (110 m cumulés, soit moins de 5 secondes à 80 km/h). Toutefois, après quelques années de pousse, le risque d'éblouissement sera complètement supprimé.



La figure suivante identifie les zones du générateur photovoltaïque qui vont générer ces rayons réfléchis. L'analyse montre que 18 % de la surface génère des impacts.

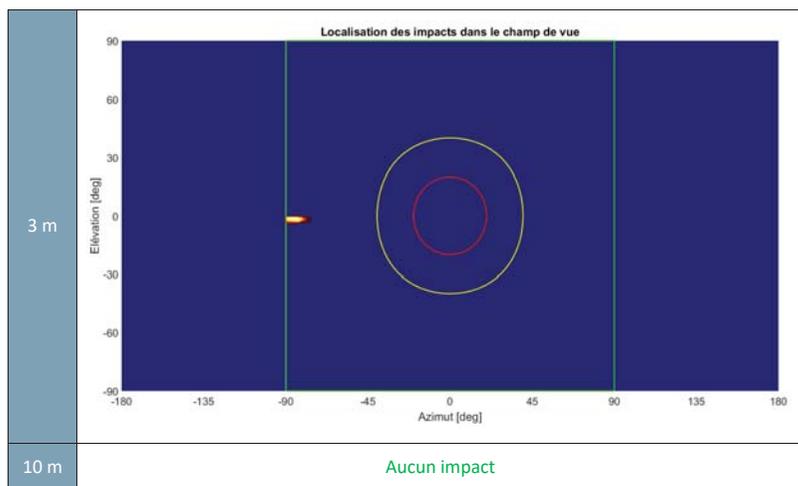


La figure suivante présente tout au long de l'année la datation des impacts identifiés.



L'analyse montre que les rayons réfléchis surviennent le soir, entre mi-avril et fin août, sur une durée journalière inférieure à 60 minutes.

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



L'analyse montre que les rayons réfléchis arriveront sur la gauche des conducteurs, dans leur vision périphérique ($> 76^\circ$) lorsqu'ils seront à la hauteur du générateur, si bien que le risque d'éblouissement sera présent à la mise en service du générateur mais diminuera jusqu'à disparaître après quelques années de pousse.

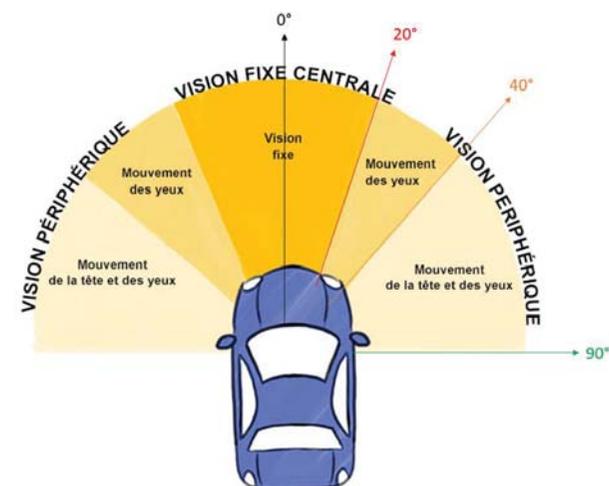
6. CONCLUSION

L'analyse montre que pour la configuration étudiée (azimut/inclinaison des tables PV) et une hauteur de haies végétales déjà existantes égale à 16 m, les conducteurs roulant depuis le Nord ou le Sud sont impactés le soir par des rayons réfléchis, au niveau du générateur.

Toutefois, il est à noter que la probabilité d'occurrence de l'éblouissement est faible car la durée est limitée dans la journée avec des impacts survenant pendant un laps de temps inférieur à 75 minutes au regard d'une journée de durée supérieure à 10 heures.

Enfin, la sévérité de l'éblouissement est faible dans la mesure où :

- L'éblouissement intervient dans la vision périphérique des conducteurs, sous un angle supérieur à 64° si bien que les conducteurs doivent bouger la tête et les yeux pour être éblouis ;



- L'angle entre les rayons réfléchis et les rayons directs du soleil est comprise entre 0 et 35° si bien qu'aujourd'hui, en l'absence de générateur photovoltaïque et pour ces mêmes instants, les conducteurs sont déjà éblouis par le soleil.

Afin de supprimer une partie de l'éblouissement, le projet bénéficiera des haies végétales qui seront mises en place le long de la route nationale ainsi qu'au Nord du générateur au niveau du poste de transformation. La haie le long de la route nationale devrait atteindre une hauteur supérieure à 10 m si bien que les occurrences d'éblouissement seront fortement réduites après quelques années de pousse ; les derniers impacts concernent ainsi un tronçon d'environ 70 m, soit moins de 4 secondes à 80 km/h.

SOLAR



C.P.E.S FONTANILLE

330 rue du Mourelet | ZI de Courtine | 84000 Avignon | France

T 04 32 76 03 00 | F 04 90 39 08 68

fr-solaire@res-group.com