



55, allée Pierre Ziller  
06 560 Sophia Antipolis

## Etude de Réverbération

### Projet Photovoltaïque de Migné-Auxances



8 décembre 2020 – 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 .....               | 5  |
|      | LA CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE .....                        | 5  |
|      | LA TRAJECTOIRE DES TRAINS .....                         | 6  |
|      | LA TOPOGRAPHIE .....                                    | 7  |
|      | LES MODULES .....                                       | 8  |
|      | LA LIGNE D’HORIZON .....                                | 8  |
| 4.   | ANALYSE .....   | 9  |
| 4.1. | TRAJECTOIRE EST – DEPUIS LE NORD .....                  | 10 |
| 4.2. | TRAJECTOIRE EST – DEPUIS LE SUD .....                   | 11 |
| 4.3. | TRAJECTOIRE OUEST – DEPUIS LE NORD .....                | 15 |
| 4.4. | TRAJECTOIRE OUEST – DEPUIS LE SUD .....                 | 16 |
| 5.   | CONCLUSION .....  | 21 |

## 2. PRESENTATION GENERALE

### 2.1. PRESENTATION DU DOCUMENT

Ce document présente l'étude de réverbération du projet photovoltaïque de la société EDF RENOUVELABLES localisé à Migné-Auxances (Vienne), à proximité de deux sections de la ligne à grande vitesse Sud-Europe Atlantique (LISEA). 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

#### Maître d'Ouvrage



6, rue du Calvaire  
CS 52314  
44 023 Nantes Cedex 1

#### Contact :

M. Timothée DEGRACE – [timothee.degrace@edf-re.fr](mailto:timothee.degrace@edf-re.fr)

#### 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 ENTREES CONSIDEREES

#### 3.1. PRESENTATION DU PROJET

Le projet de la société EDF RENOUVELABLES consiste à réaliser une centrale photovoltaïque au sol à Migné-Auxances (Vienne), à proximité de deux sections de la ligne à grande vitesse Sud-Europe Atlantique (LISEA).

| Intitulé             | Latitude   | Longitude |
|----------------------|------------|-----------|
| Centrale au sol fixe | 46,629602° | 0,346842° |

Le tableau suivant détaille les caractéristiques de la centrale photovoltaïque, la technologie de modules utilisés étant des modules rigides (cristallins) avec du verre en surface.

| Intitulé             | Azimut     | Inclinaison | Point bas des tables | Point haut des tables |
|----------------------|------------|-------------|----------------------|-----------------------|
| Centrale au sol fixe | 180° (Sud) | 10°         | 1,0 m                | 2,75 m                |

La figure suivante présente l’emprise au sol des modules photovoltaïques.



### 3.2. PRESENTATION DES ELEMENTS MODELISES

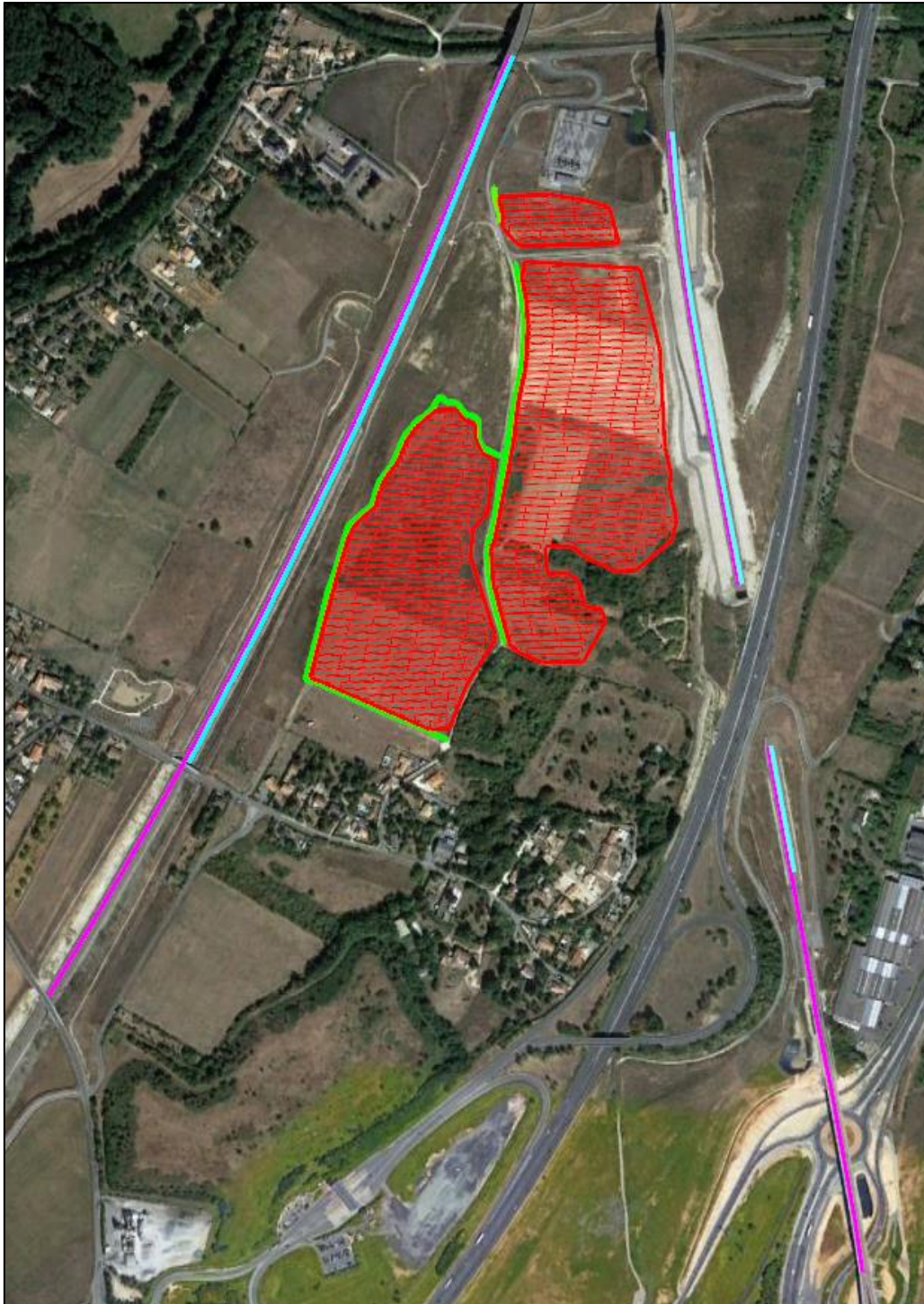
#### LA CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE

La figure suivante présente la modélisation de la centrale à partir de trois polygones ainsi que la végétation modélisée dans l'étude permettant de supprimer certains cas d'éblouissement. Cette végétation (en vert dans la figure ci-dessous) a été modélisée avec en hypothèse une hauteur de 3 m.



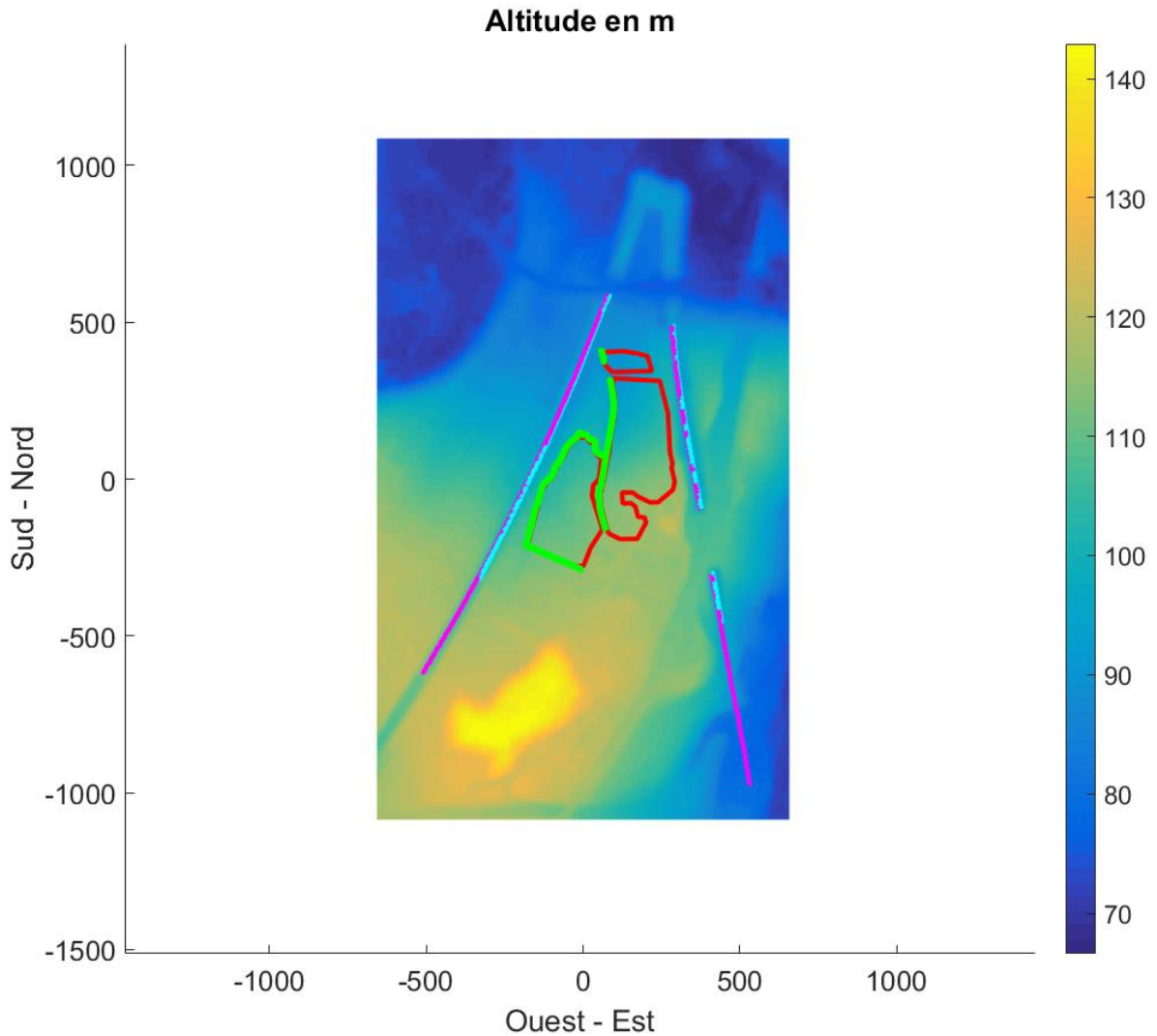
## LA TRAJECTOIRE DES TRAINS

Les trajets depuis le SUD (resp. depuis le NORD) sont représentés en magenta (resp. en cyan). Une hauteur de 3,0 m au-dessus du sol a été considérée afin de prendre en compte la position des conducteurs des trains.



LA TOPOGRAPHIE

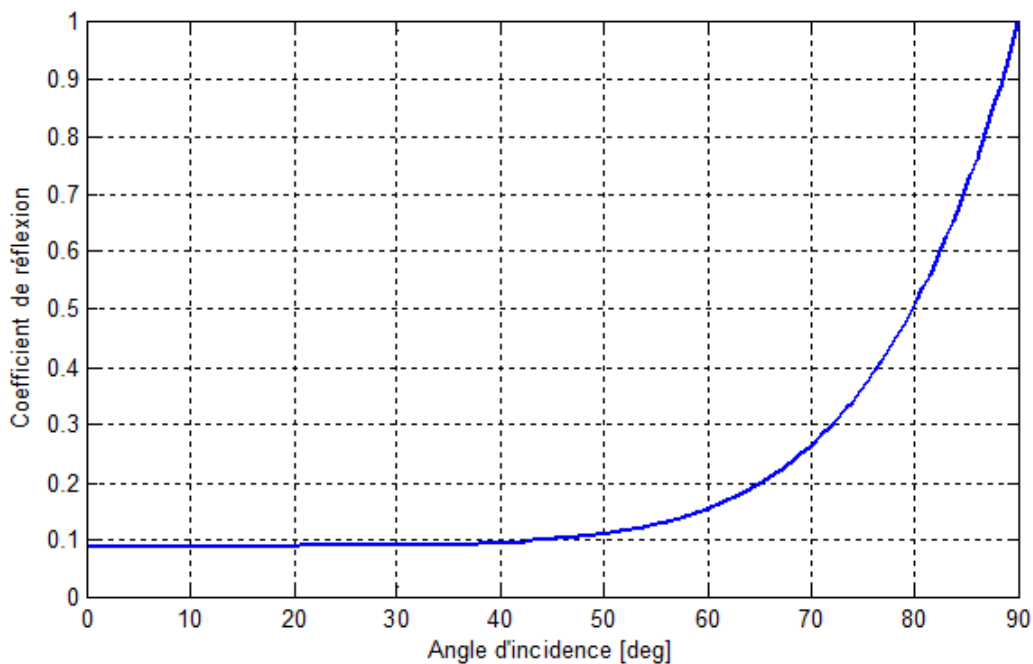
Un modèle numérique de terrain avec une maille de 10 m a été utilisé pour cette étude. La centrale est représentée en rouge, les trajectoires des trains en magenta et cyan et les masques végétaux en vert. Le dégradé de couleur correspond à l'altitude du terrain en mètres.



LES MODULES

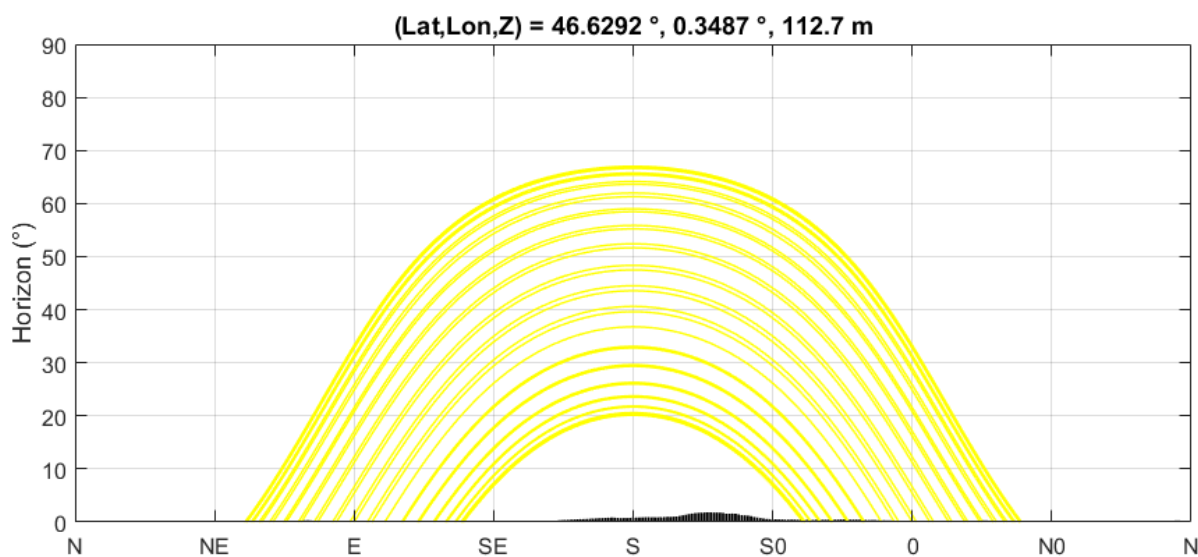
Les modules concernés utilisent une couche en verre susceptible de provoquer des cas d'éblouissement suivant l'angle d'incidence. Il convient donc d'effectuer une analyse fine des cas potentiels d'éblouissement.

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



LA LIGNE D'HORIZON

Le relief lointain, tel que présentée en noir dans la figure ci-dessous, a été pris en compte dans la simulation. En jaune est représentée la course du soleil tout au long de l'année.





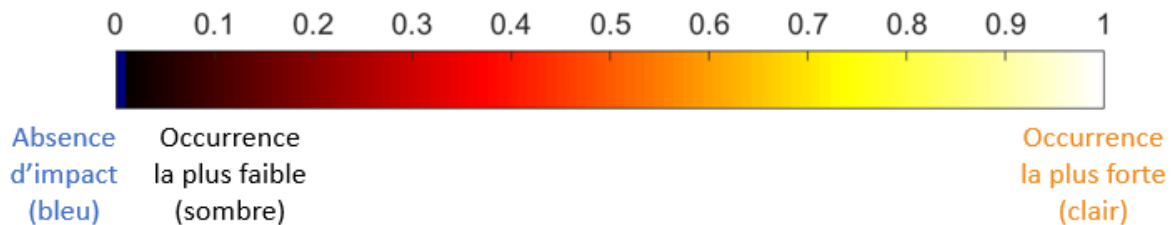
## 4. ANALYSE

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 de la centrale photovoltaïque générant ces rayons réfléchis ;
- Datation dans l'année des impacts identifiés ;
- Localisation des rayons réfléchis dans le champ de vue des conducteurs de train.

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.



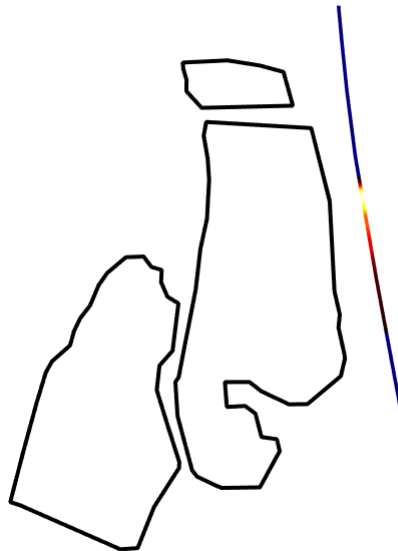
## 4.1. TRAJECTOIRE EST – DEPUIS LE NORD

L'analyse montre que les trains venant à l'Est de la centrale et depuis le Nord ne seront jamais impactés par des rayons réfléchis si bien que **le risque d'éblouissement est nul.**

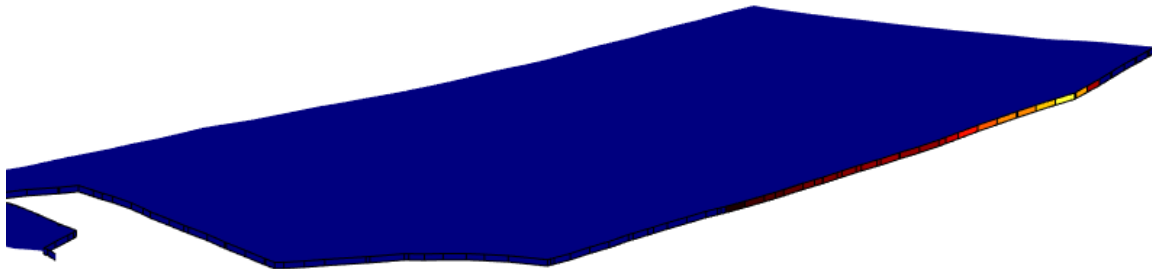
| SYNTHESE DU CAS ETUDIE |  |
|------------------------|--|
| Trajectoire            | <b>A l'Est de la centrale<br/>Depuis le Nord</b> |
| Conclusion             | <b>Aucun risque d'éblouissement</b>              |

#### 4.2. TRAJECTOIRE EST – DEPUIS LE SUD

Les figures suivantes identifient pour les trains venant à l'Est de la centrale et depuis le Sud, les zones de la trajectoire qui seront impactées par des rayons réfléchis (sont exclus les rayons réfléchis survenant dans le dos des conducteurs), et ce sur un tronçon d'environ 225 m, soit moins de 3 secondes à 300 km/h (vitesse considérée pour les trains sur une ligne à grande vitesse).



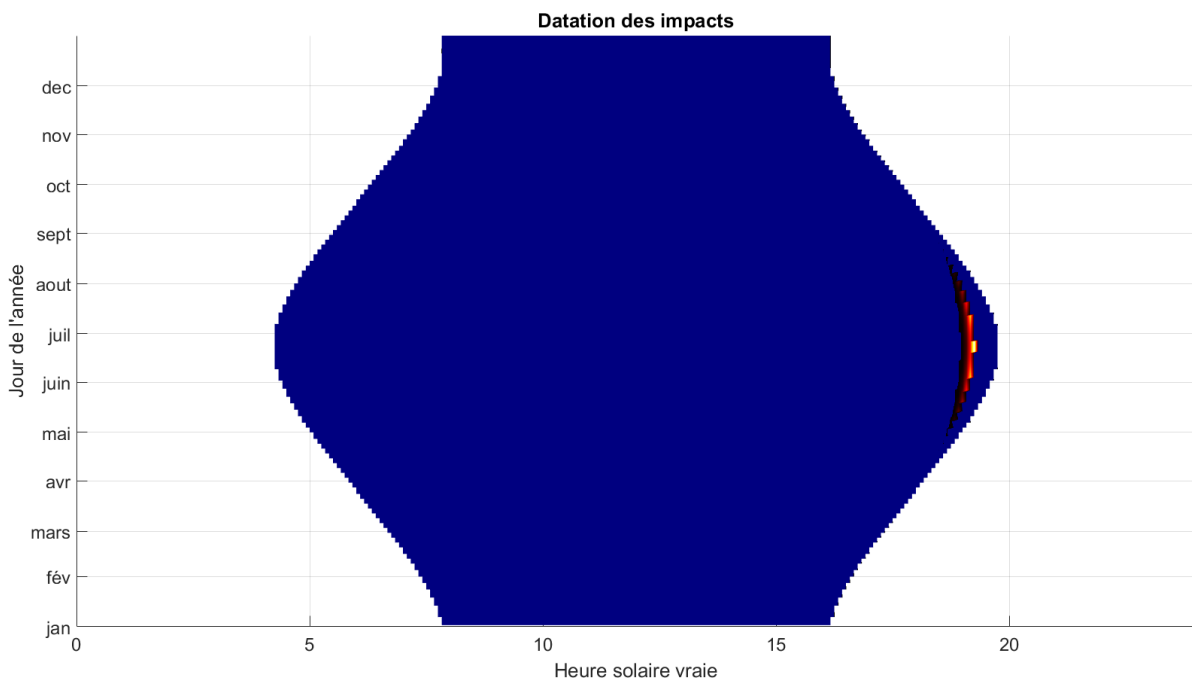
La figure suivante identifie les zones de la centrale photovoltaïque qui vont générer ces rayons réfléchis. *L'analyse montre que moins de 1 % de la surface génère des impacts.*



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.

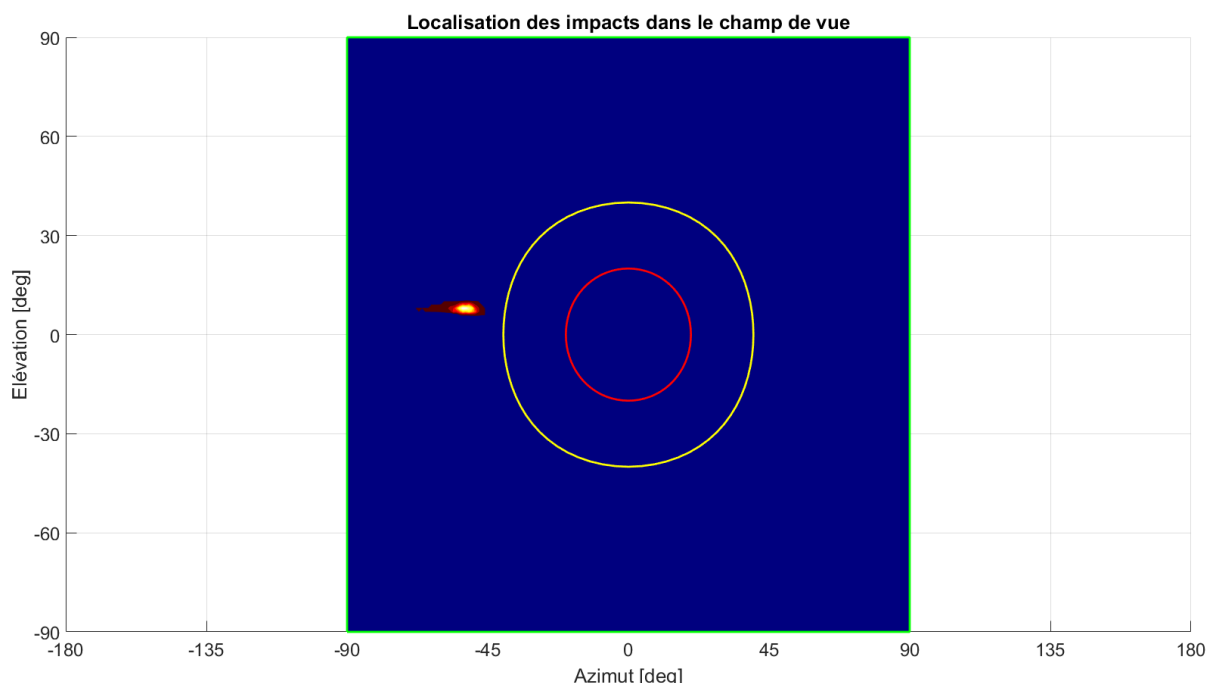
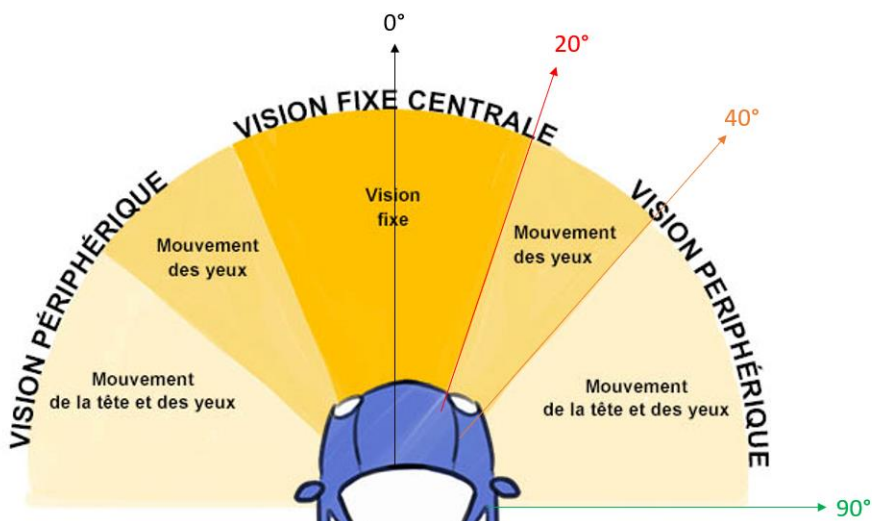


*L'analyse montre que les rayons réfléchis surviennent le soir, entre fin avril et mi-août, sur une durée journalière inférieure à 20 minutes.*

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

- 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 gauche des conducteurs, dans leur vision périphérique (> 46°) si bien que le risque d’éblouissement est présent (à condition d’un mouvement de la tête et des yeux).*

Toutefois, il est à noter que :

- La probabilité d'occurrence de l'éblouissement est faible car la durée est limitée dans l'année (entre fin avril et mi-août) et dans la journée avec des impacts survenant pendant un laps de temps inférieur à 20 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 ;
- La sévérité de l'éblouissement est faible dans la mesure où les rayons réfléchis surviennent en vision périphérique ( $> 46^\circ$ ) si bien qu'un mouvement de la tête et des yeux est nécessaire pour que la gêne soit avérée. La signalisation ferroviaire étant située dans la vision fixe centrale du conducteur, les rayons réfléchis ne sont pas susceptibles de gêner la perception de la signalisation.

| SYNTHESE DU CAS ETUDIE     |  |
|----------------------------|--|
| Trajectoire                | A l'Est de la centrale<br>Depuis le Sud                          |
| Conclusion                 | Risque d'éblouissement<br><b>Probabilité et sévérité faibles</b> |
| Champ de vue impactée      | Vision périphérique  |
| Période                    | Entre fin avril et mi-août                                       |
| Heure solaire vraie        | [ 18h35 – 19h20 ]  |
| Durée journalière          | < 20 minutes   |
| Élévation solaire          | [ 2,4 – 7,8° ]   |
| Angle trajectoire / rayons | [ 46 – 68° ]   |
| Tronçon impacté            | Moins de 225 m<br>Soit moins de 3 s à 300 km/h                   |

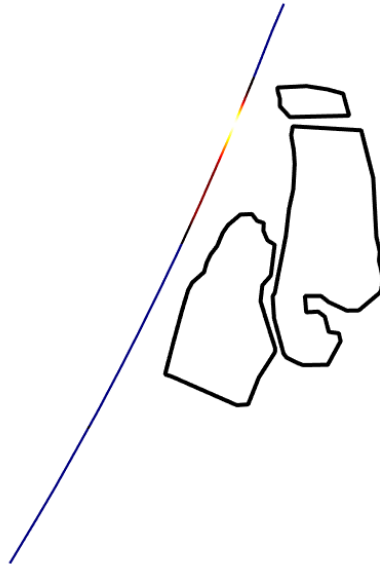
#### 4.3. TRAJECTOIRE OUEST – DEPUIS LE NORD

L'analyse montre que les trains venant à l'Ouest de la centrale et depuis le Nord ne seront jamais impactés par des rayons réfléchis si bien que **le risque d'éblouissement est nul**.

| SYNTHESE DU CAS ETUDIE |  |
|------------------------|--|
| Trajectoire            | <b>A l'Ouest de la centrale<br/>Depuis le Nord</b> |
| Conclusion             | <b>Aucun risque d'éblouissement</b>                |

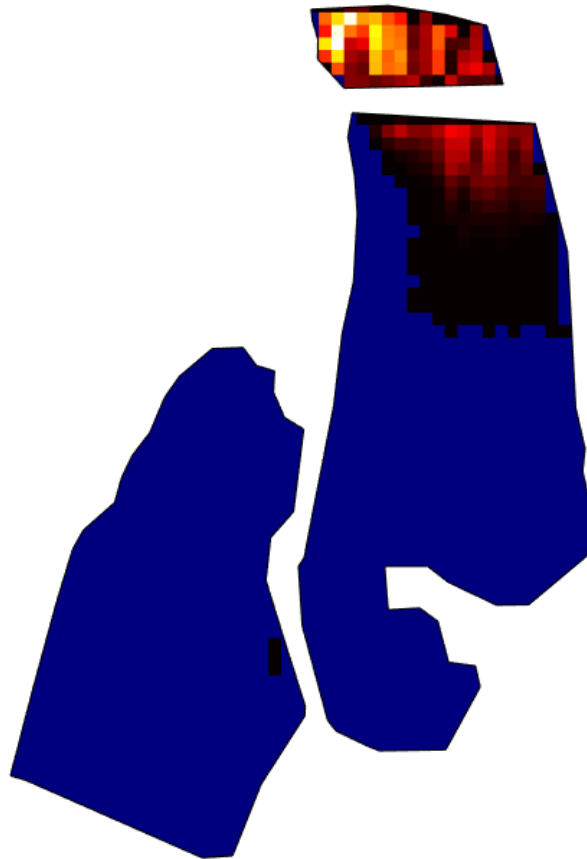
#### 4.4. TRAJECTOIRE OUEST – DEPUIS LE SUD

Les figures suivantes identifient pour les trains venant à l’Ouest de la centrale et depuis le Sud, les zones de la trajectoire qui seront impactées par des rayons réfléchis (sont exclus les rayons réfléchis survenant dans le dos des conducteurs), et ce sur un tronçon d’environ 390 m, soit moins de 5 secondes à 300 km/h (vitesse considérée pour les trains sur une ligne à grande vitesse).





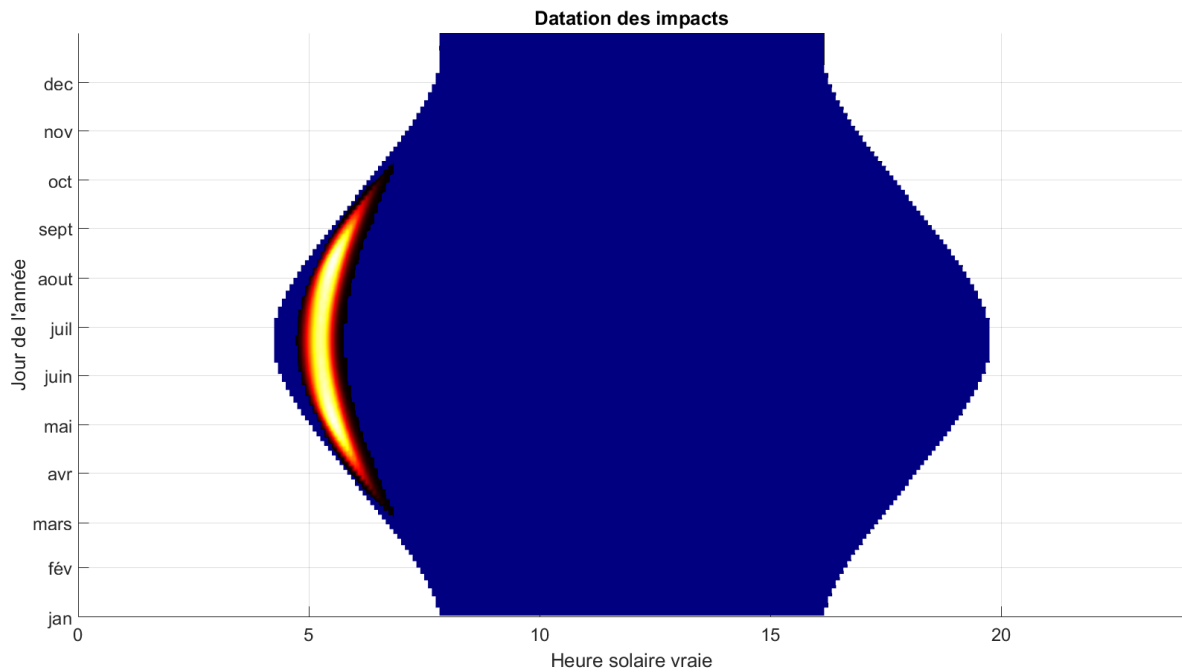
La figure suivante identifie les zones de la centrale photovoltaïque qui vont générer ces rayons réfléchis. *L'analyse montre que 19 % de la surface génère des impacts.*



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.

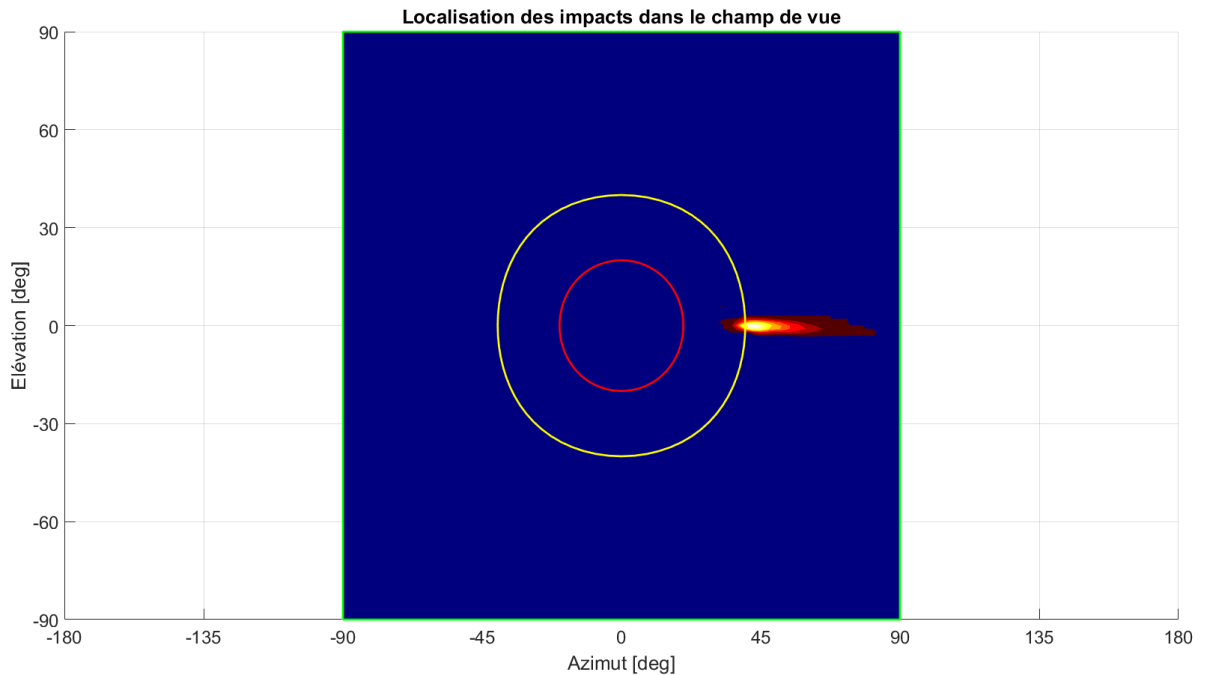


*L'analyse montre que les rayons réfléchis surviennent le matin, entre début mars et mi-octobre, sur une durée journalière inférieure à 65 minutes.*

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

- 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 ( $> 31^\circ$ ) si bien que le risque d'éblouissement est présent (à condition d'un mouvement de la tête ou des yeux).

Toutefois, il est à noter que :

- La probabilité d'occurrence de l'éblouissement est faible car la durée est limitée dans l'année (entre début mars et mi-octobre) et 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 12 heures ;
- La sévérité de l'éblouissement est faible dans la mesure où les rayons réfléchis surviennent en vision périphérique ( $> 31^\circ$ ) si bien qu'un mouvement de la tête ou des yeux est nécessaire pour que la gêne soit avérée. La signalisation ferroviaire étant située dans la vision fixe centrale du conducteur, les rayons réfléchis ne sont pas susceptibles de gêner la perception de la signalisation.

| SYNTHESE DU CAS ETUDIE     |   |
|----------------------------|---|
| Trajectoire                | <b>A l'Ouest de la centrale<br/>Depuis le Sud</b>                       |
| Conclusion                 | <b>Risque d'éblouissement</b><br><b>Probabilité et sévérité faibles</b> |
| Champ de vue impactée      | <b>Vision périphérique</b>  |
| Période                    | <b>Entre début mars et mi-octobre</b>                                   |
| Heure solaire vraie        | [ 4h75 – 6h50 ]   |
| Durée journalière          | <b>&lt; 65 minutes</b>  |
| Élévation solaire          | [ 1,1 – 14,9° ]   |
| Angle trajectoire / rayons | <b>[ 31 – 82° ]</b>   |
| Tronçon impacté            | Environ 390 m<br>Soit moins de 5 s à 300 km/h                           |

## 5. CONCLUSION

Les tableaux suivants synthétisent les résultats de l'étude de réverbération laquelle met en avant un risque d'éblouissement pour les trains venant depuis le Sud.

Toutefois, il est à noter que :

- La probabilité d'occurrence de l'éblouissement est faible car la durée est limitée dans l'année et dans la journée avec des impacts survenant pendant un laps de temps inférieur à 20 minutes au regard d'une journée de durée supérieure à 12 heures ;
- La sévérité de l'éblouissement est faible dans la mesure où les rayons réfléchis surviennent en vision périphérique si bien qu'un mouvement de la tête et/ou des yeux est nécessaire pour que la gêne soit avérée. La signalisation ferroviaire étant située dans la vision fixe centrale du conducteur, les rayons réfléchis ne sont pas susceptibles de gêner la perception de la signalisation.

### Trajectoires à l'Est de la centrale

| SYNTHESE DES CAS ETUDIES   |   |  |
|----------------------------|---|--|
| Trajectoire                | A l'Est de la centrale<br>Depuis le Sud                                 | A l'Est de la centrale<br>Depuis le Nord |
| Conclusion                 | <b>Risque d'éblouissement</b><br><b>Probabilité et sévérité faibles</b> | <b>Aucun risque d'éblouissement</b>      |
| Champ de vue impactée      | Vision périphérique   |  |
| Période                    | Entre fin avril et mi-août  |  |
| Heure solaire vraie        | [ 18h35 – 19h20 ]   |  |
| Durée journalière          | < 20 minutes  |  |
| Élévation solaire          | [ 2,4 – 7,8° ]  |  |
| Angle trajectoire / rayons | [ 46 – 68° ]  |  |
| Tronçon impacté            | Moins de 225 m<br>Soit moins de 3 s à 300 km/h                          |  |

**Trajectoires à l'Ouest de la centrale**

| SYNTHESE DES CAS ETUDIES   |   |  |
|----------------------------|---|--|
| Trajectoire                | A l'Ouest de la centrale<br>Depuis le Sud                               | A l'Ouest de la centrale<br>Depuis le Nord |
| Conclusion                 | <b>Risque d'éblouissement</b><br><b>Probabilité et sévérité faibles</b> | <b>Aucun risque d'éblouissement</b>        |
| Champ de vue impactée      | Vision périphérique   |  |
| Période                    | Entre début mars et mi-octobre  |  |
| Heure solaire vraie        | [ 4h75 – 6h50 ]   |  |
| Durée journalière          | < 65 minutes  |  |
| Élévation solaire          | [ 1,1 – 14,9° ]   |  |
| Angle trajectoire / rayons | [ 31 – 82° ]  |  |
| Tronçon impacté            | Environ 390 m<br>Soit moins de 5 s à 300 km/h                           |  |