

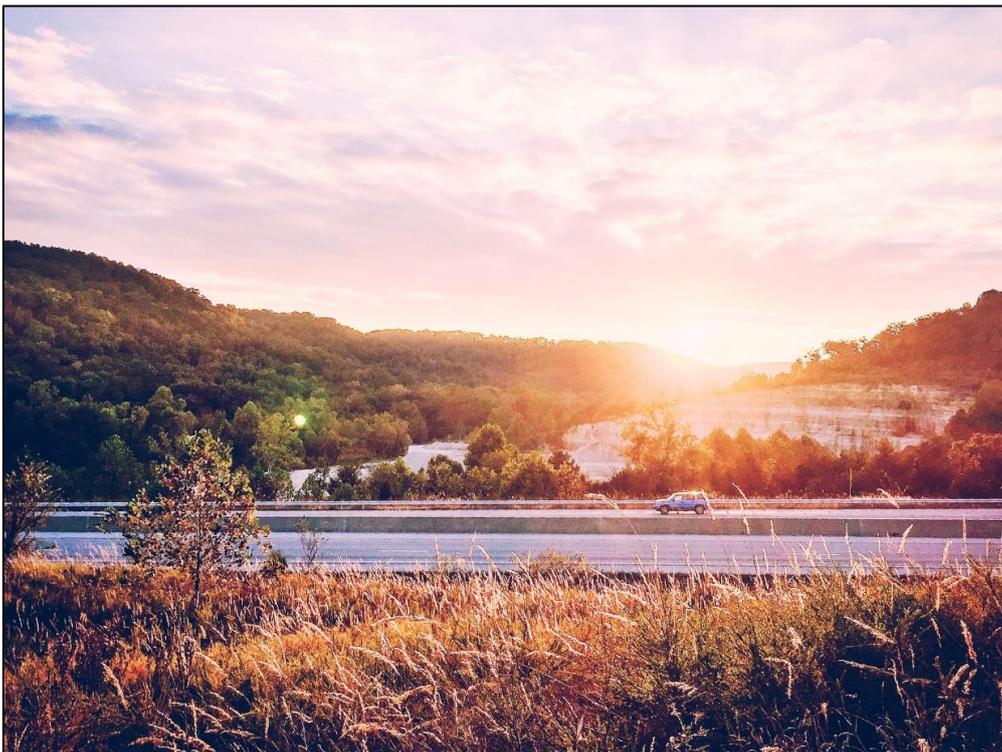


955, route des Lucioles
06 560 Valbonne Sophia Antipolis

Etude de Réverbération

Projet d'installation agrivoltaïque de Coulonges-Cohan

Routes départementales D2 et D79



EE AGRISOLAIRE 05

8 septembre 2023 – version 1.2

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 ENTREES CONSIDEREES	4
3.1.	PRESENTATION DU PROJET	4
3.2.	PRESENTATION DES ELEMENTS MODELISES	5
	LE GENERATEUR AGRIVOLTAÏQUE	5
	LA TRAJECTOIRE DES VEHICULES	6
	LA TOPOGRAPHIE	7
	LES MODULES	8
	LA LUMINANCE DU SOLEIL	9
	LA COURSE DU SOLEIL	10
4.	ANALYSE	11
4.1.	TRAJECTOIRES DEPUIS L’EST ET L’OUEST	12
4.2.	TRAJECTOIRES DEPUIS LE SUD ET LE NORD	18
5.	REMIEDIATION	24
	ZONES 1 ET 2	25
	ZONE 3	26
6.	CONCLUSION	27

2. PRESENTATION GENERALE

2.1. PRESENTATION DU DOCUMENT

Ce document présente l'étude de réverbération du projet d'installation agrivoltaïque de la société EE AGRISOLAIRE 05 localisé à Coulonges-Cohan (02), à proximité de deux départementales. 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 agrivoltaïques 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

EE AGRISOLAIRE 05

70 avenue de Clichy
75017 PARIS

Contacts :

Mme Aurélie QUINCHARD (European Energy) – aqui@europeanenergy.dk
AMO : M. Éric VIRVAUX (Actif Solaire/Impulsion) – e.virvaux@impulsion-groupe.fr

Cabinet d'Ingénierie



955, route des Lucioles
06 560 Valbonne Sophia Antipolis

Contact :

Mme Maryam EL MOUDEN – maryam.elmouden@solais.fr

3. PRESENTATION DU PROJET ET DES ENTREES CONSIDEREES

3.1. PRESENTATION DU PROJET

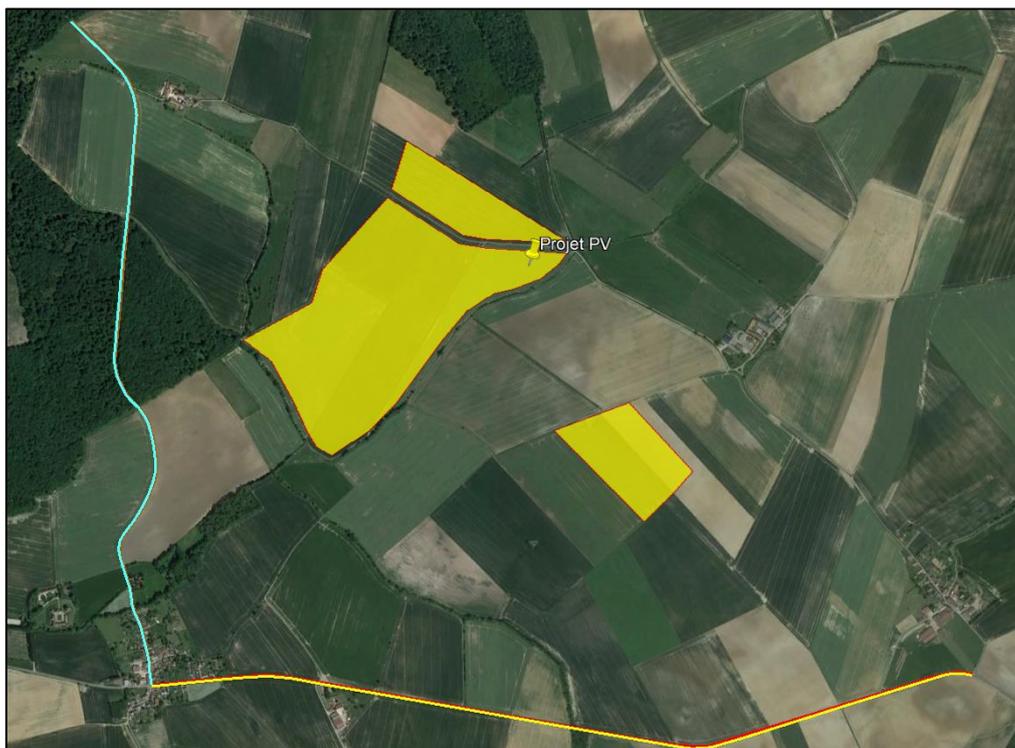
Le projet de la société EE AGRISOLAIRE 05 consiste à réaliser une installation agrivoltaïque au sol à Coulonges-Cohan (02), à proximité de la route départementale RD2 et RD79.

Intitulé	Latitude	Longitude
Installation agrivoltaïque au sol	49.216896°	3.594963°

Le tableau suivant détaille les caractéristiques des trackers :

Intitulé	Axe de rotation par rapport à l'axe nord-sud	Angle de rotation	Entraxe	Largeur de bande collectrice
Zone 1 et 2	-30° (Nord-Est / Sud-Ouest)	± 60°	13 m	5 m
Zone 3	40° (Nord-Ouest / Sud-Est)			

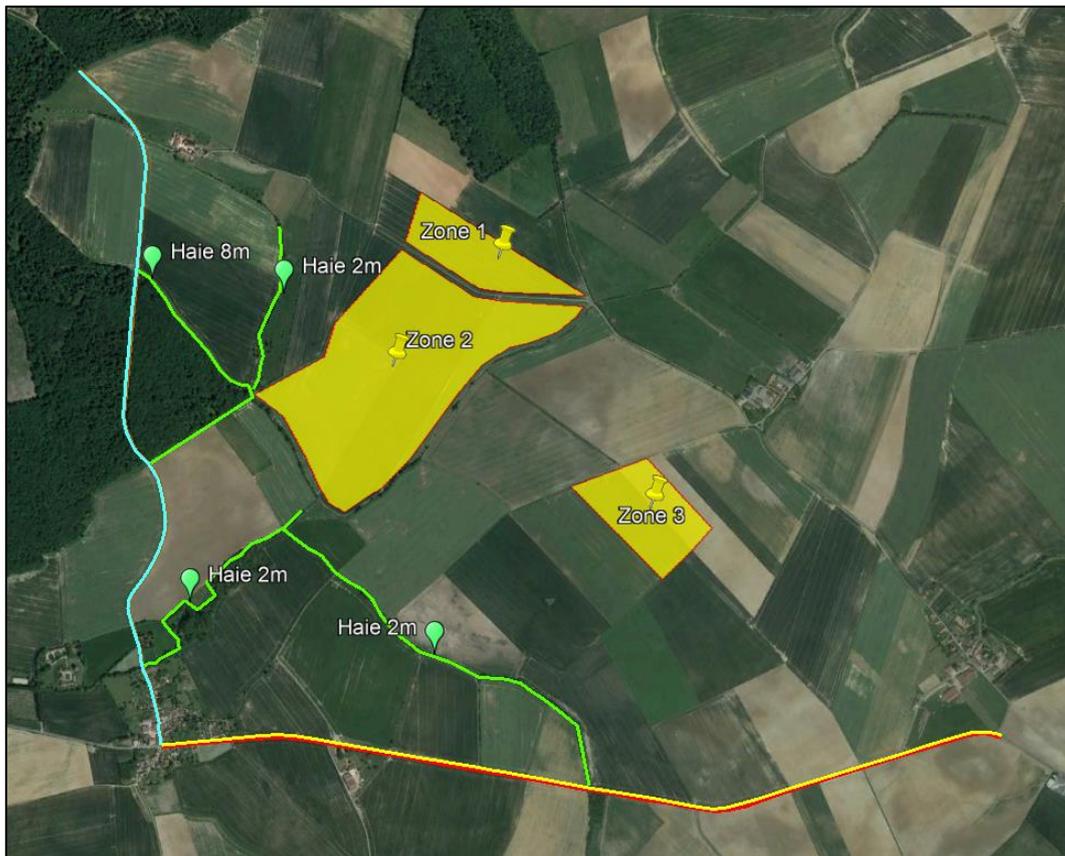
La figure suivante présente les emprises au sol des modules agrivoltaïques avec la localisation des routes départementales.



3.2. PRESENTATION DES ELEMENTS MODELISES

LE GENERATEUR AGRIVOLTAÏQUE

La figure suivante présente la modélisation du générateur à partir de trois polygones ainsi que la végétation modélisée dans l'étude permettant de supprimer certains cas d'éblouissement.

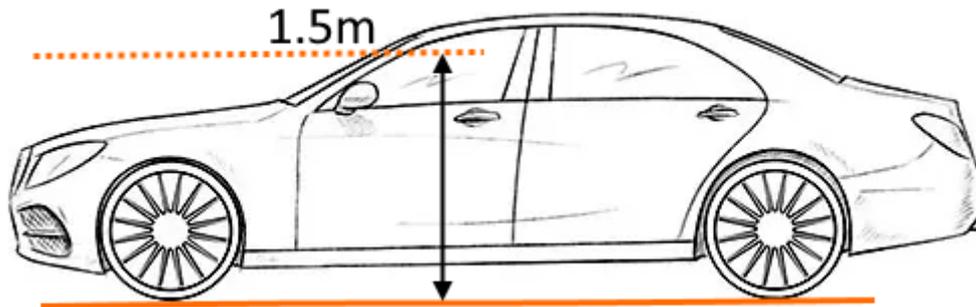


LA TRAJECTOIRE DES VEHICULES

La figure suivante présente les trajectoires considérées dans cette étude (en jaune la trajectoire depuis l’Ouest, en rouge la trajectoire depuis l’Est, en bleu la trajectoire depuis le Sud et en marron la trajectoire depuis le Nord).

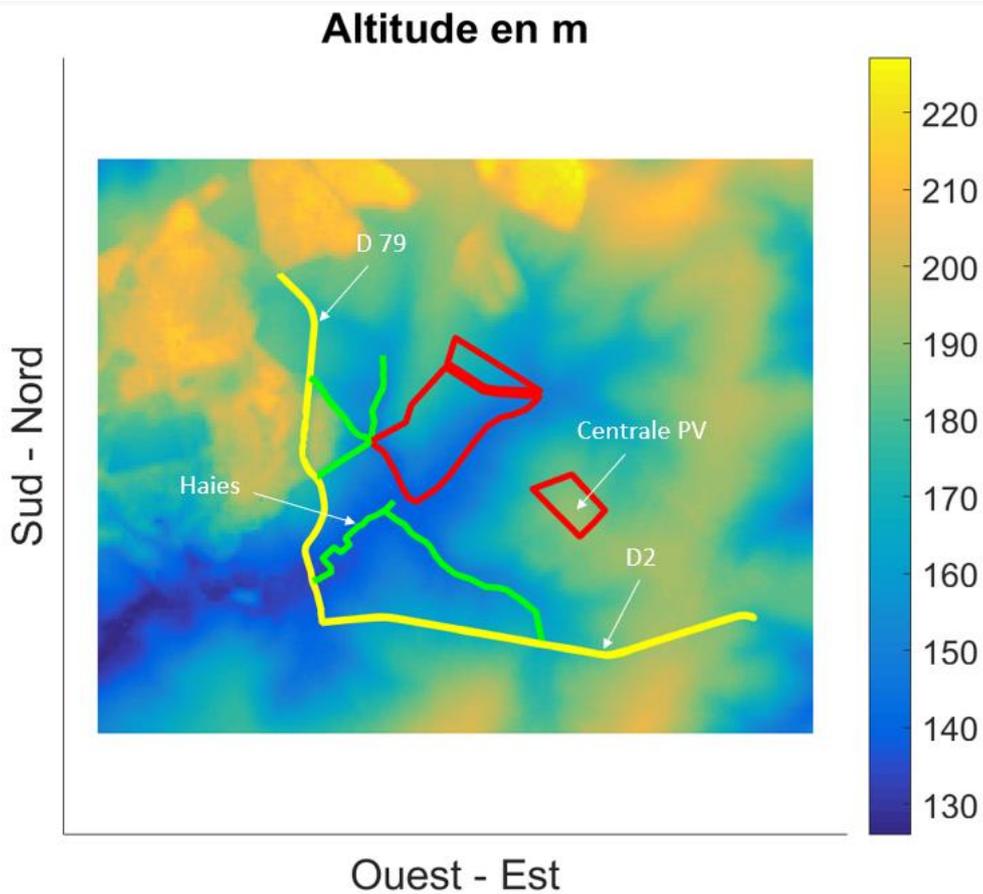


Une hauteur de 1,5 m au-dessus du sol a été considérée afin de prendre en compte les conducteurs des voitures sur la départementale.



LA TOPOGRAPHIE

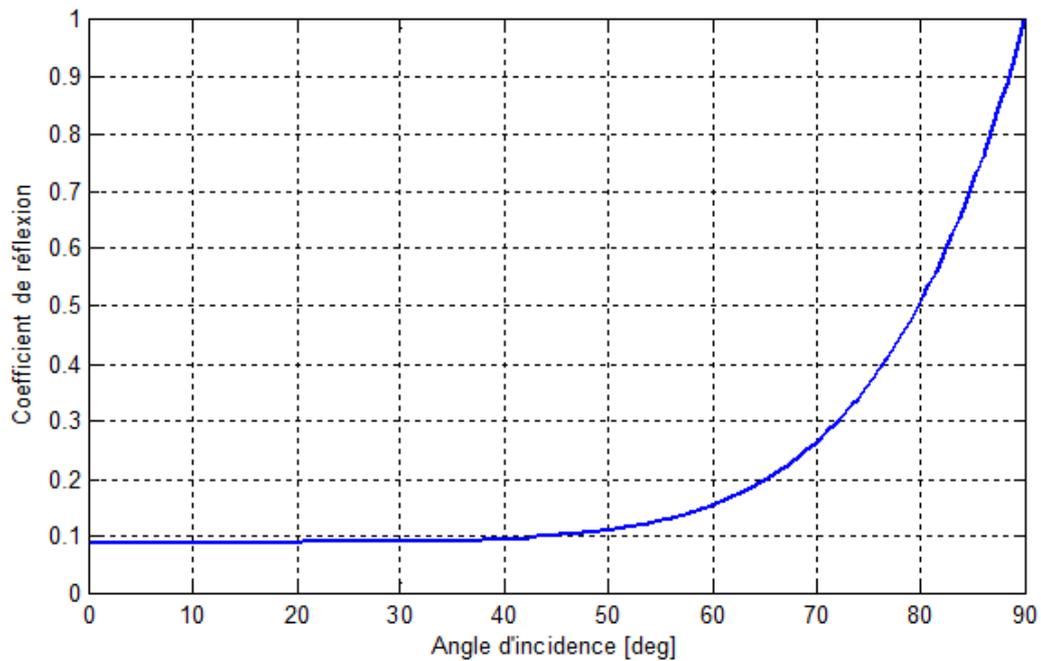
Un modèle numérique de terrain avec une maille de 10 m a été utilisé pour cette étude. Le générateur est représenté en rouge et les trajectoires des automobiles en jaune et les masques végétaux en vert (arbres existants). Le dégradé de couleur correspond à l'altitude du terrain en mètres.



LES MODULES

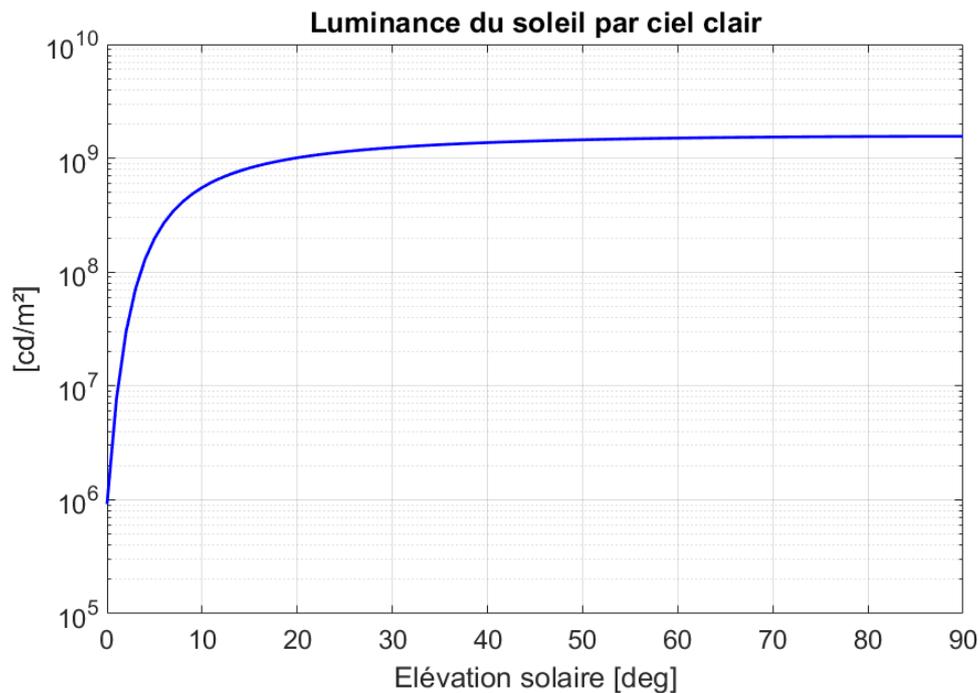
Les modules concernés utilisent une couche en verre susceptible de provoquer des cas d'éblouissement suivant l'angle d'incidence. Il convient donc d'effectuer une analyse fine des cas potentiels d'éblouissement.

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

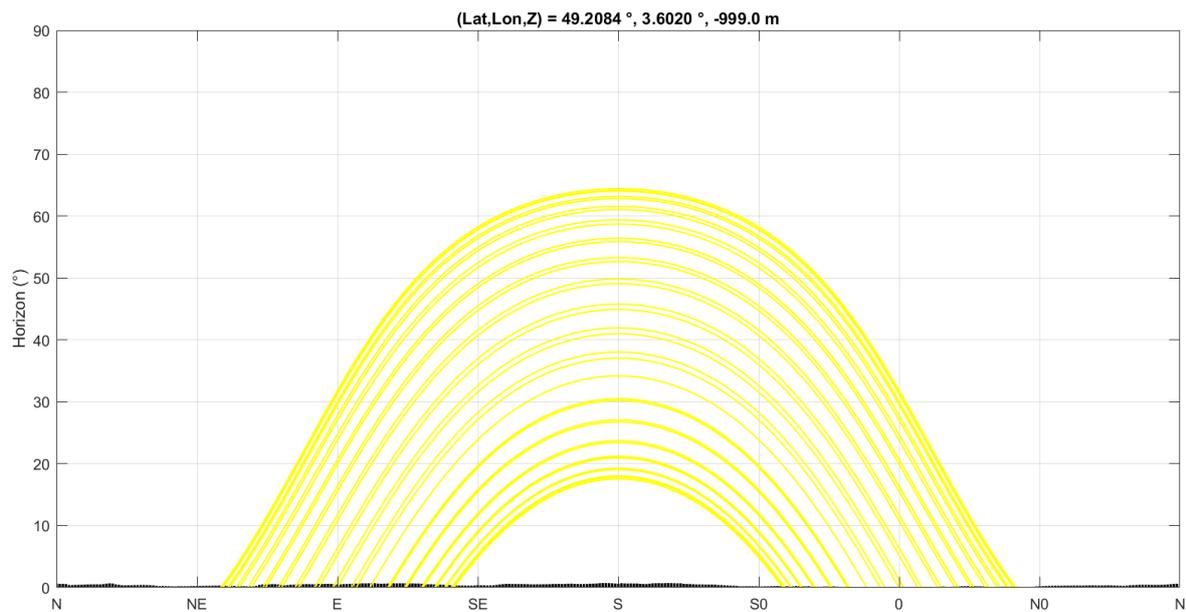
La figure suivante présente le profil de luminance (en candéla par m², cd/m²) des rayons direct du soleil avec une hypothèse de ciel parfaitement clair, et ce en fonction de l'élévation du soleil. Il est à noter que la luminance est d'environ 900 000 cd/m² au lever du soleil et culmine à 1,6 milliards 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 (en jaune) 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 horizontal représente l'azimut du soleil ;
- L'axe vertical représente l'élévation du soleil en degré ;
- En noir est représenté le relief lointain.



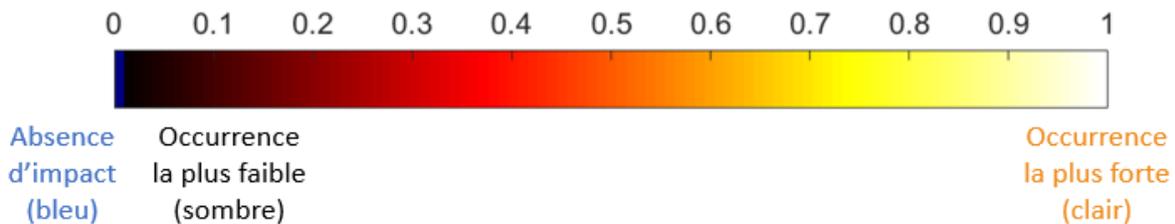
4. ANALYSE

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 :

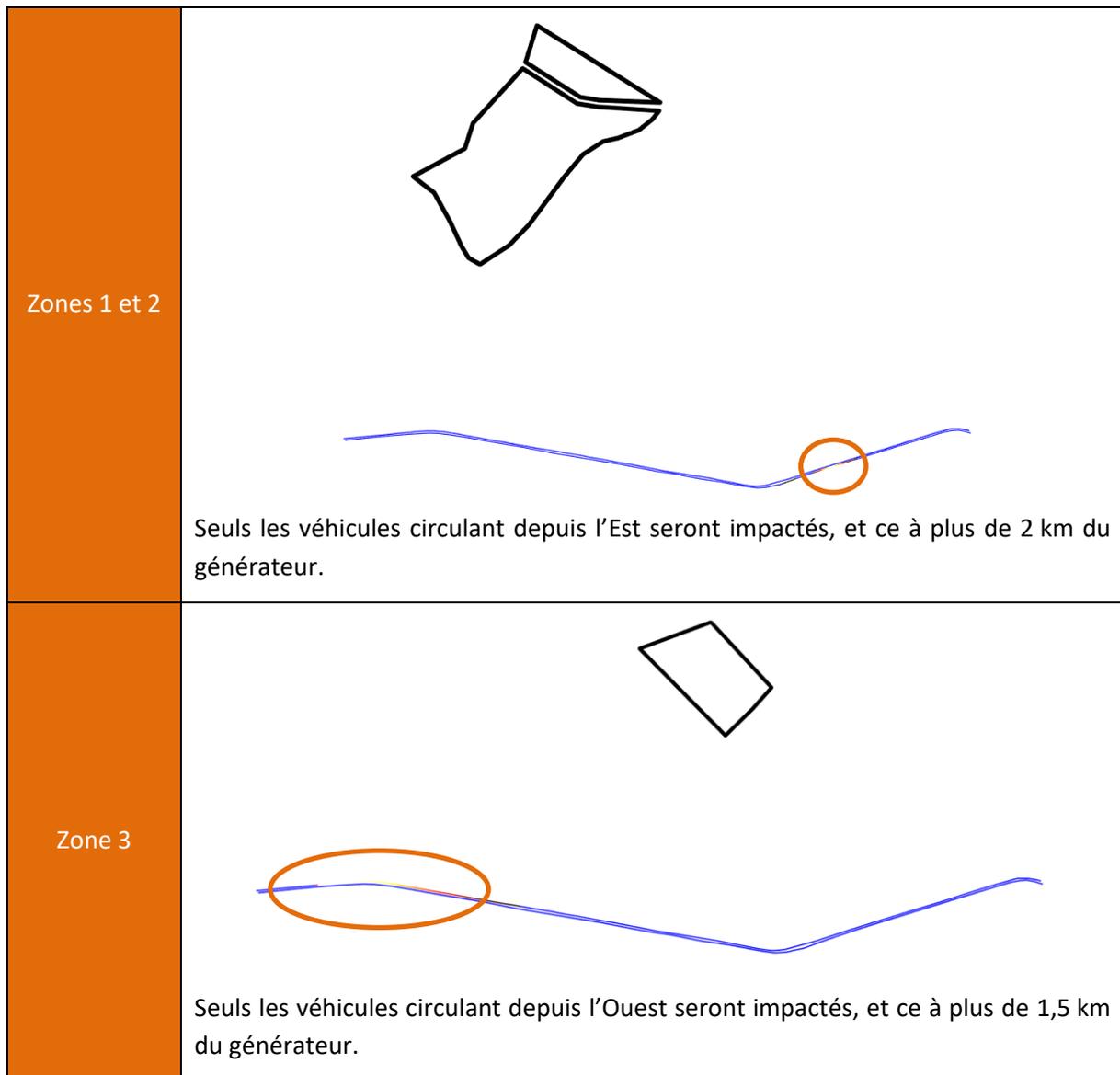
- Localisation des trajectoires impactées par des rayons réfléchis ;
- Localisation des zones du générateur agrivoltaïque générant ces rayons réfléchis ;
- Datation dans l'année des impacts identifiés ;
- Localisation des rayons réfléchis dans le champ de vue des automobilistes.

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.

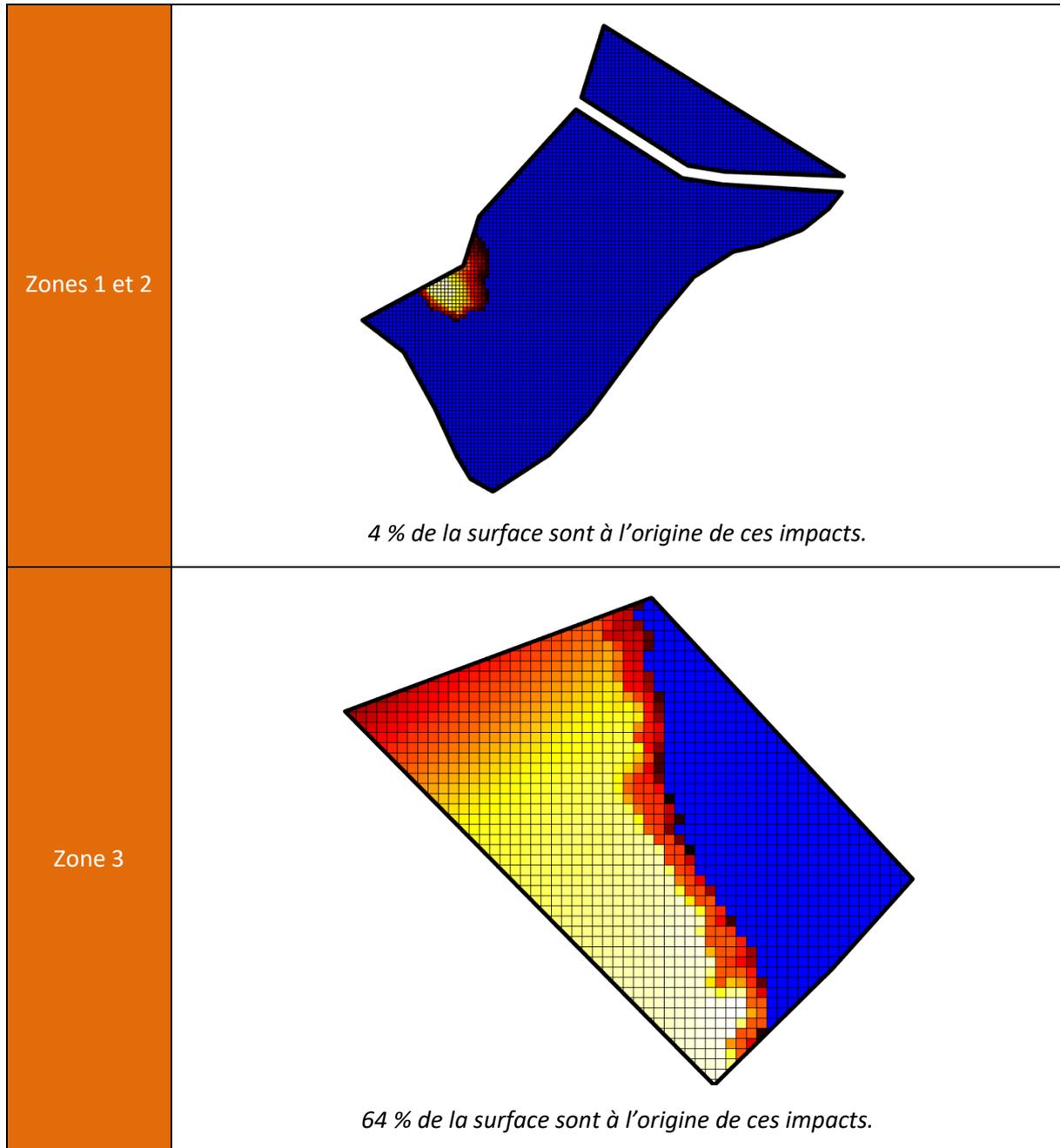


4.1. TRAJECTOIRES DEPUIS L'EST ET L'OUEST

Les figures suivantes identifient les portions des trajectoires qui seront impactées par des rayons réfléchis.



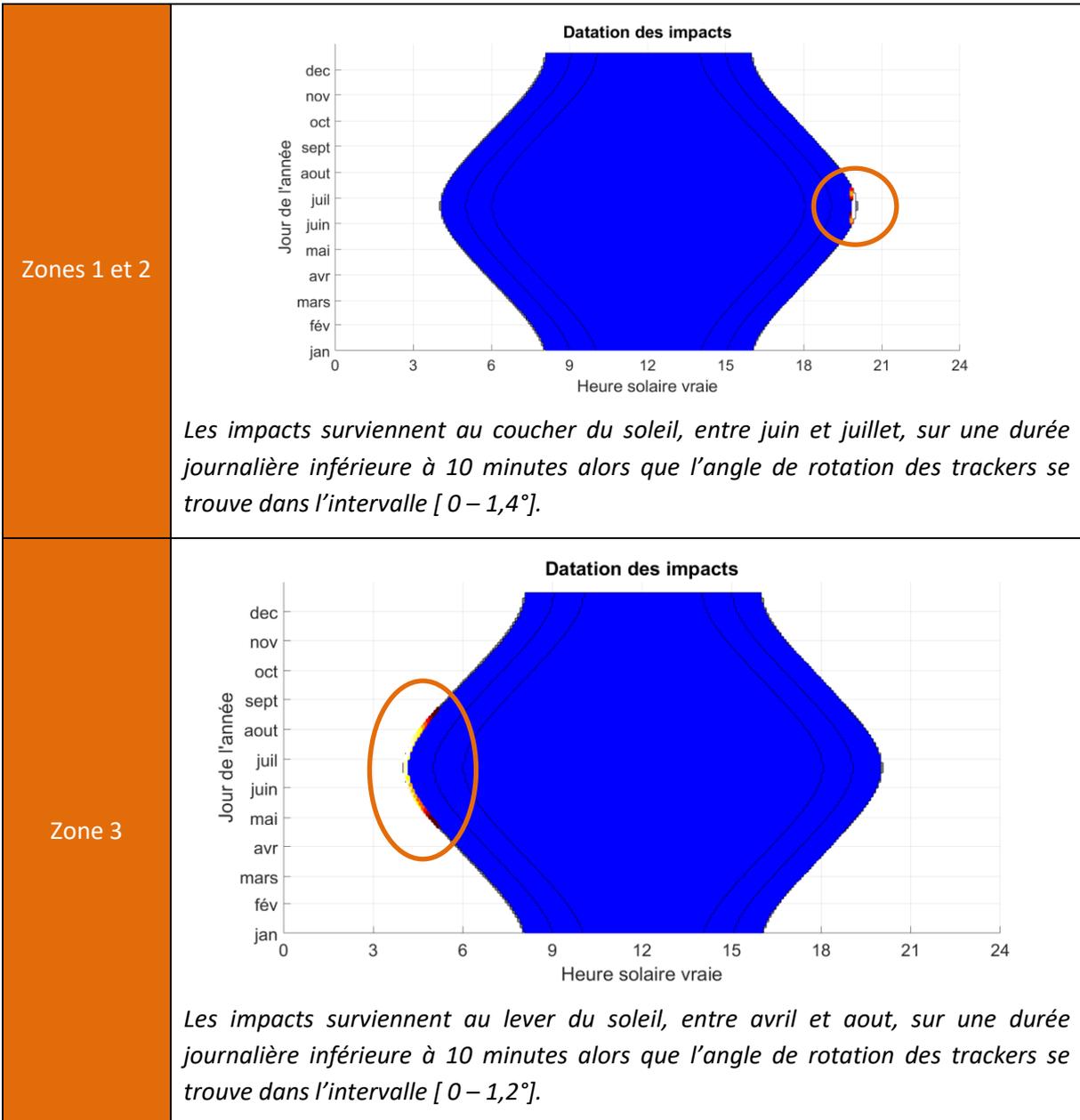
Les figures suivantes identifient les zones du générateur agrivoltaïque qui vont générer de l'éblouissement.



Les figures suivantes présentent 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.

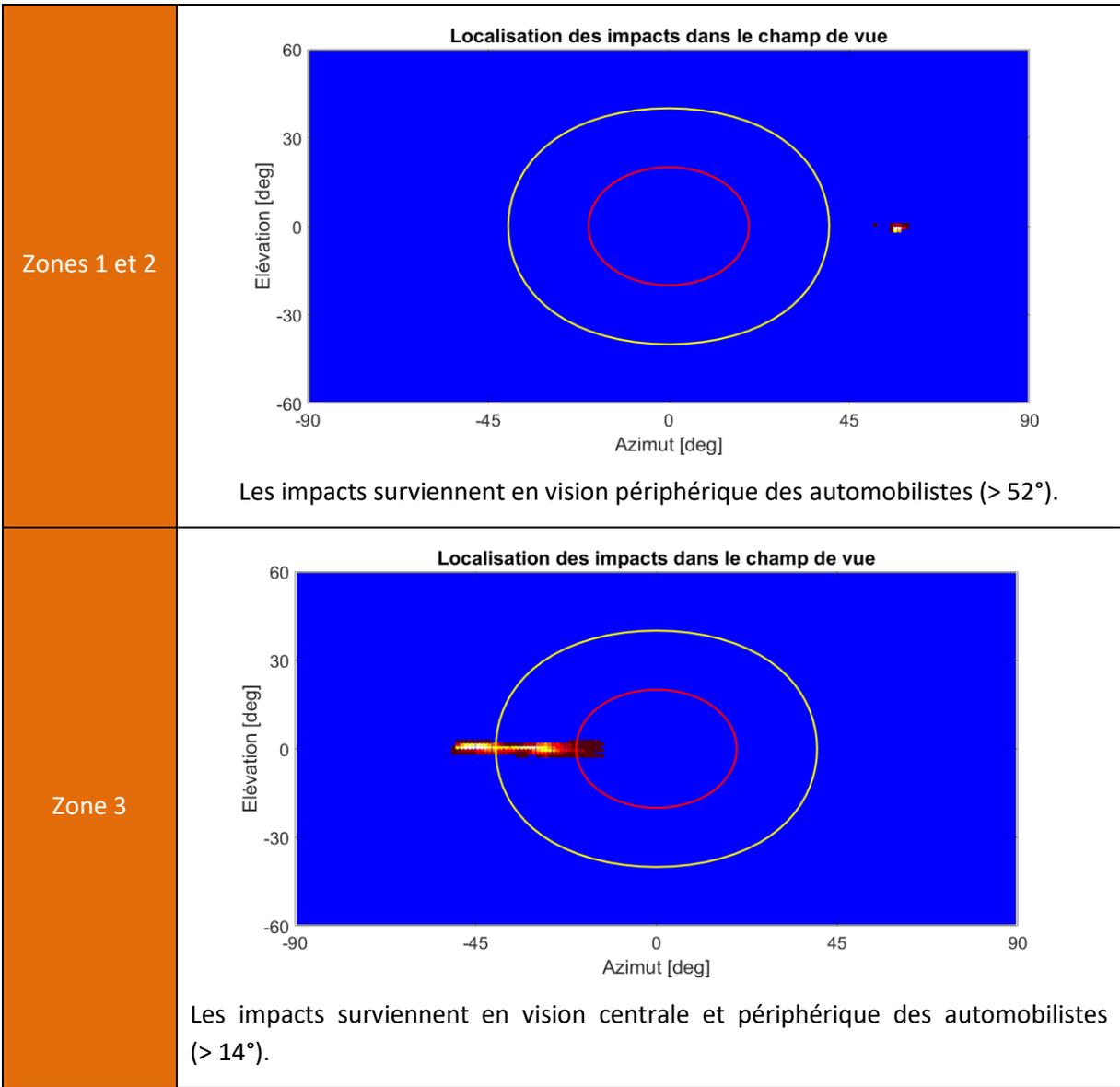
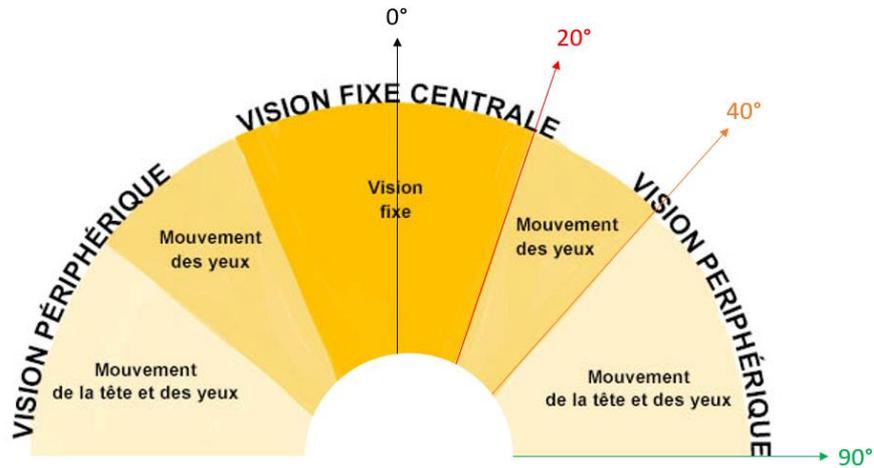
Les bords de la zone bleue correspondent aux lever et coucher du soleil, la forme rebondie traduisant le fait que la durée du jour est plus longue en été qu'en hiver.



Les figures suivantes présentent la localisation des rayons réfléchis dans le champ de vue des automobilistes :

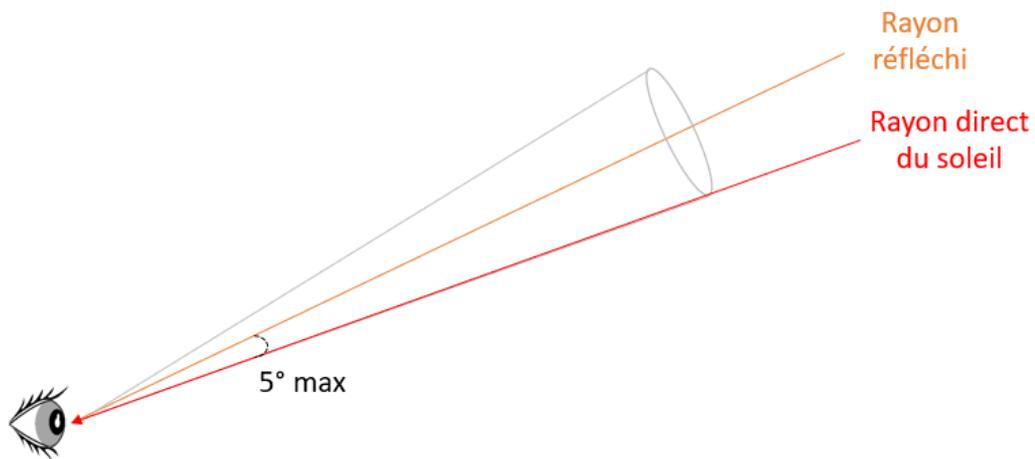
- Le centre de la figure correspond au regard dans l'axe de la trajectoire ;
- L'axe des abscisses correspond à l'angle de la vision latérale (vers la gauche ou vers la droite par rapport à la trajectoire) ;
- L'axe des ordonnées correspond à l'angle d'élévation du regard (vers le haut ou vers le bas).

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.



Toutefois, il est à noter que :

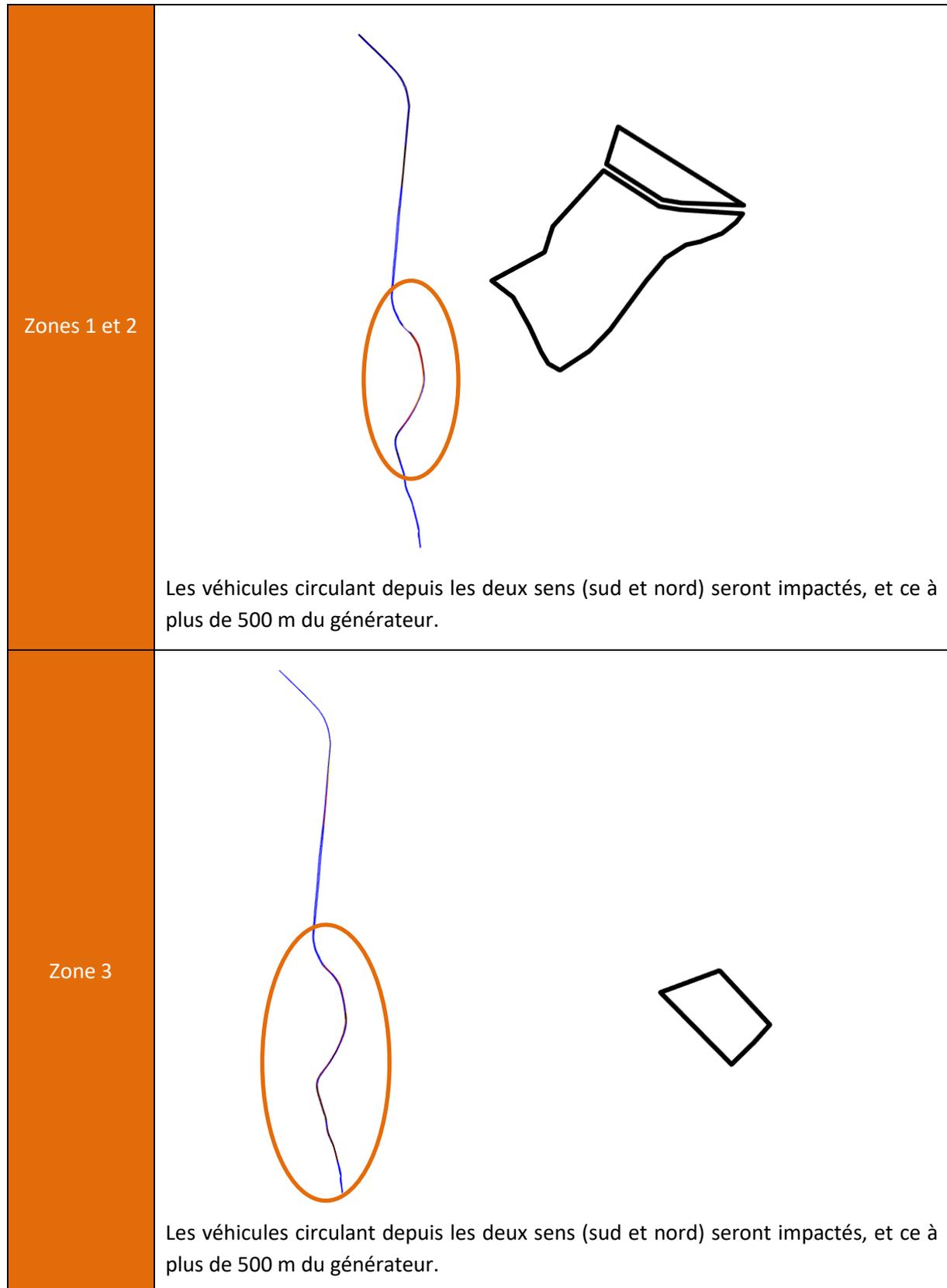
- La probabilité d'occurrence de l'éblouissement est faible dans la mesure où :
 - La durée est limitée dans l'année et dans la journée avec des impacts survenant pendant un laps de temps inférieur à 10 minutes (i.e. la largeur maximale de la bande verticale présente dans la figure « *datation des impacts* ») au regard d'une journée de durée supérieure à 12 heures ;
 - L'analyse a été réalisée avec des conditions de ciel parfaitement clair, ce qui est bien entendu loin d'être toujours le cas.
- La sévérité de l'éblouissement est faible dans la mesure où :
 - L'angle entre les rayons réfléchis et les rayons directs du soleil est systématiquement inférieur à 5° si bien qu'aujourd'hui, en l'absence de générateur agrivoltaïque et pour ces mêmes instants, les automobilistes sont déjà éblouis par le soleil.



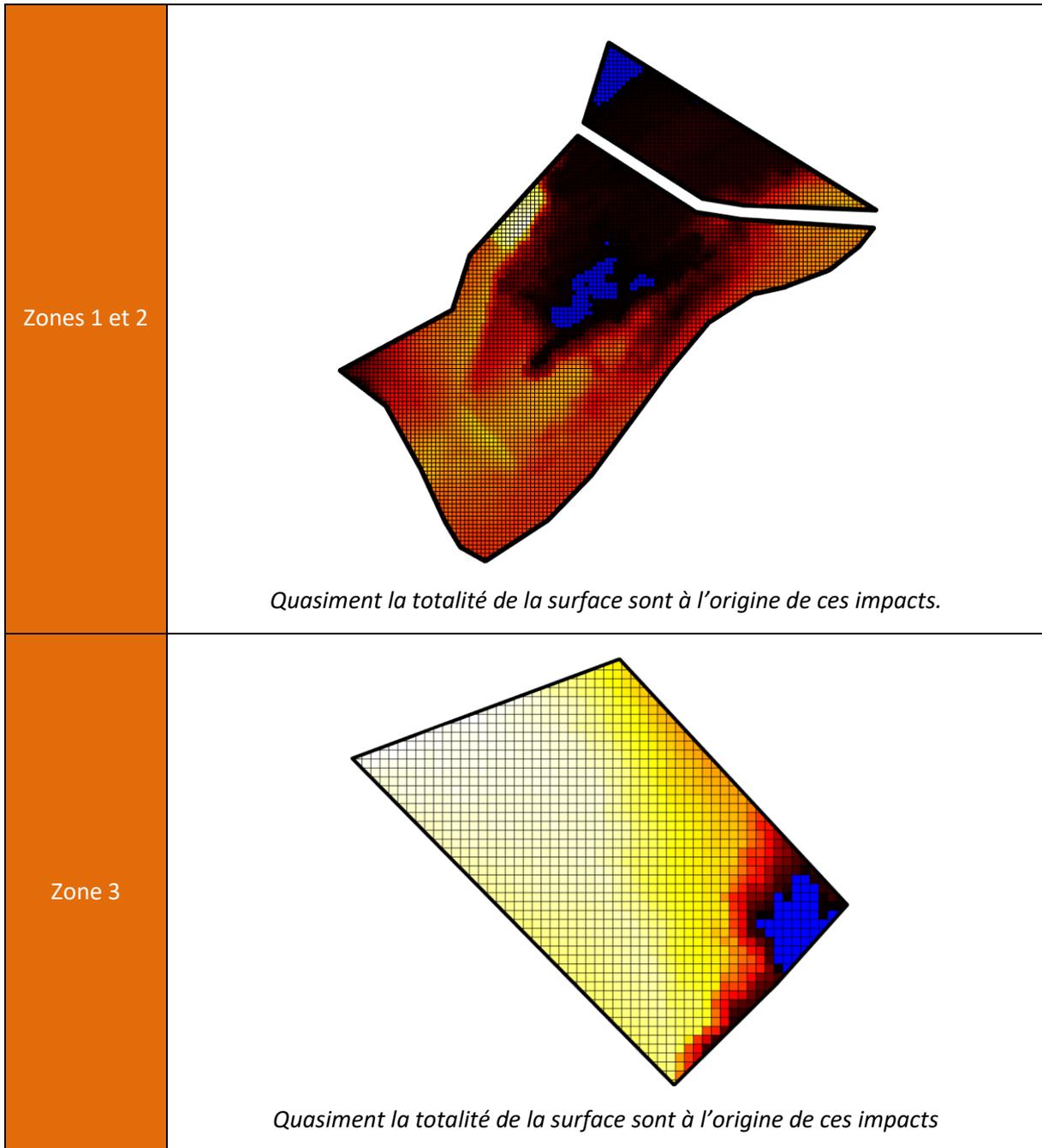
SYNTHESE DU CAS ETUDIE		
Zone d'installation agrivoltaïque	Zone 1 et 2	Zone 3
Conclusion	Risque d'éblouissement Probabilité et sévérité très faibles	
Période	Entre juin et juillet	Entre avril et aout
Heure solaire vraie	[04h05 – 05h10] ±15 min	[19h50 – 19h55] ±15 min
Durée journalière	< 10 minutes	
Élévation solaire	[0 – 1°]	
Angle trajectoire / rayons	> 52°	> 14°
Angle entre rayons réfléchis et rayons directs du Soleil	[0 – 5°]	[1 – 5°]
Tronçon impacté	Tronçon d'environ 200 m soit 10 secondes à 70 km/h	Tronçon d'environ 700 m soit 36 secondes à 70 km/h
Angle de rotation des trackers	< 1,4°	< 1,2°

4.2. TRAJECTOIRES DEPUIS LE SUD ET LE NORD

Les figures suivantes identifient les portions des trajectoires qui seront impactées par des rayons réfléchis.



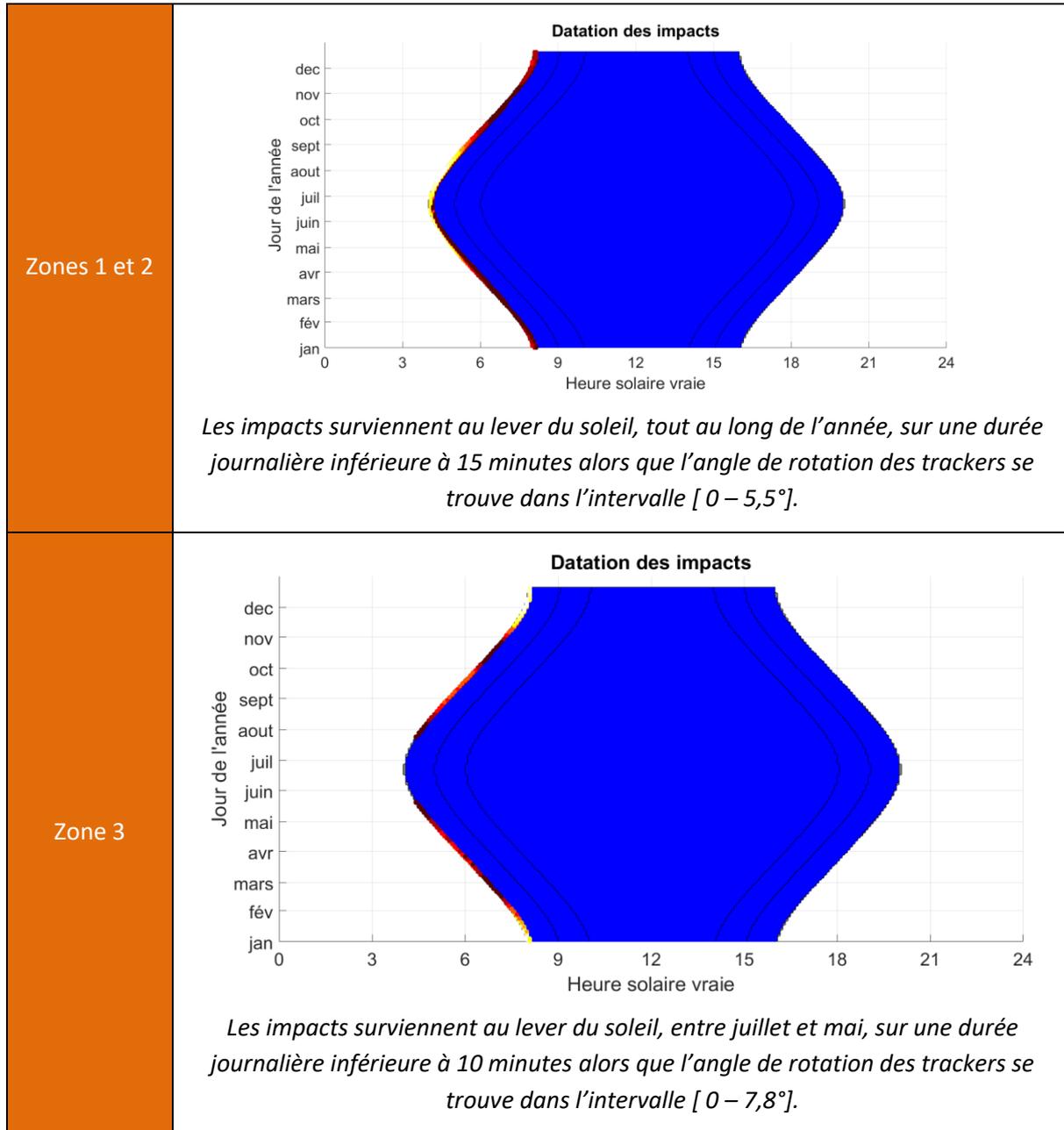
Les figures suivantes identifient les zones du générateur agrivoltaïque qui vont générer de l'éblouissement.



Les figures suivantes présentent 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.

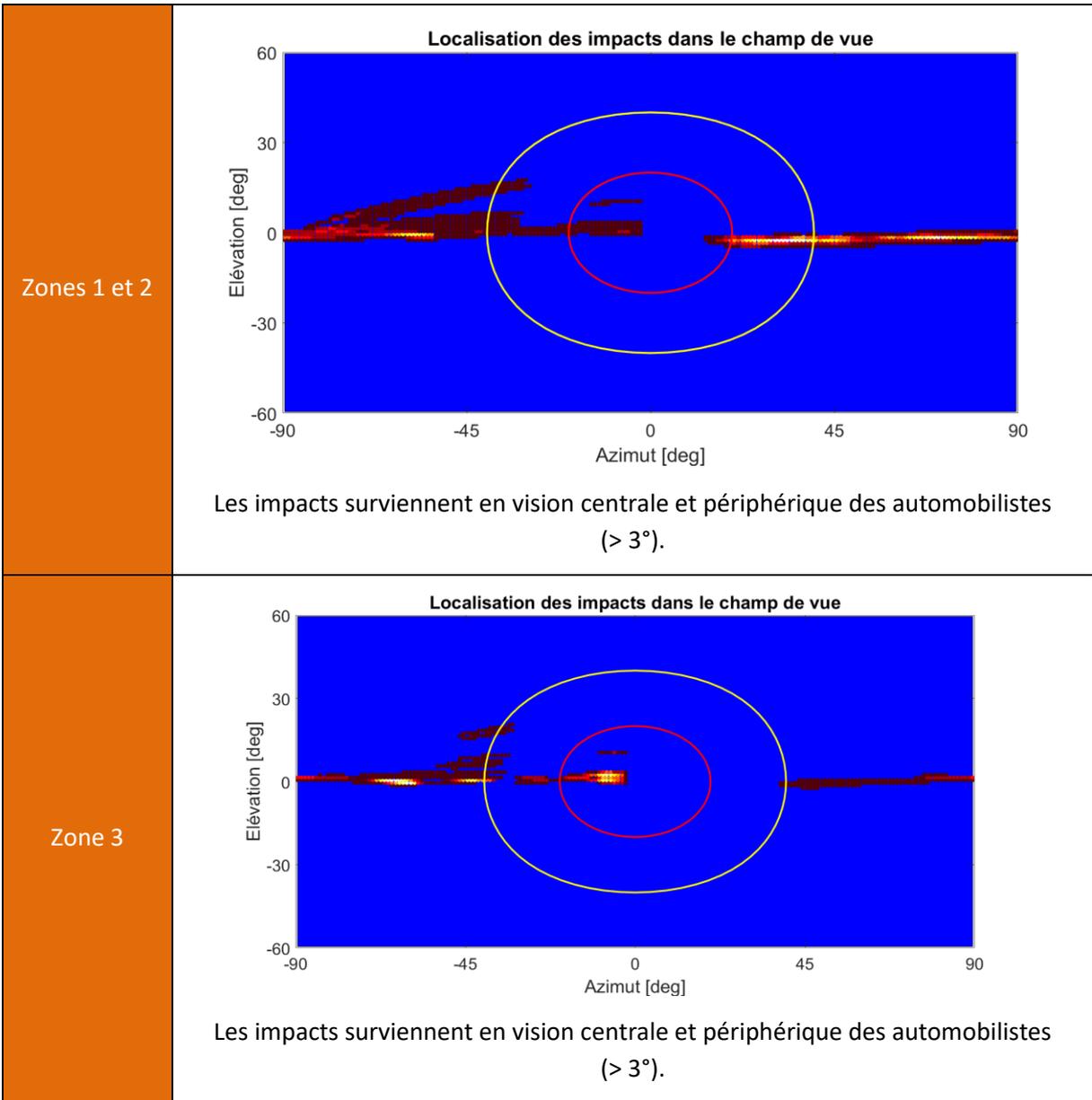
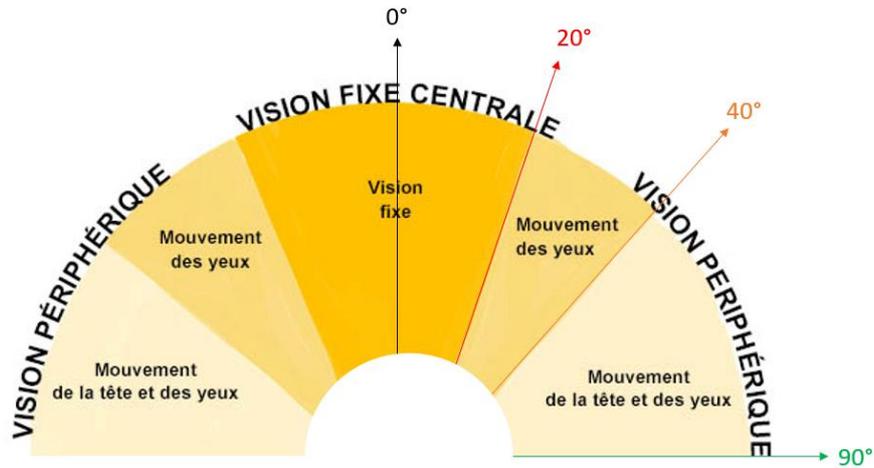
Les bords de la zone bleue correspondent aux lever et coucher du soleil, la forme rebondie traduisant le fait que la durée du jour est plus longue en été qu'en hiver.



Les figures suivantes présentent la localisation des rayons réfléchis dans le champ de vue des automobilistes :

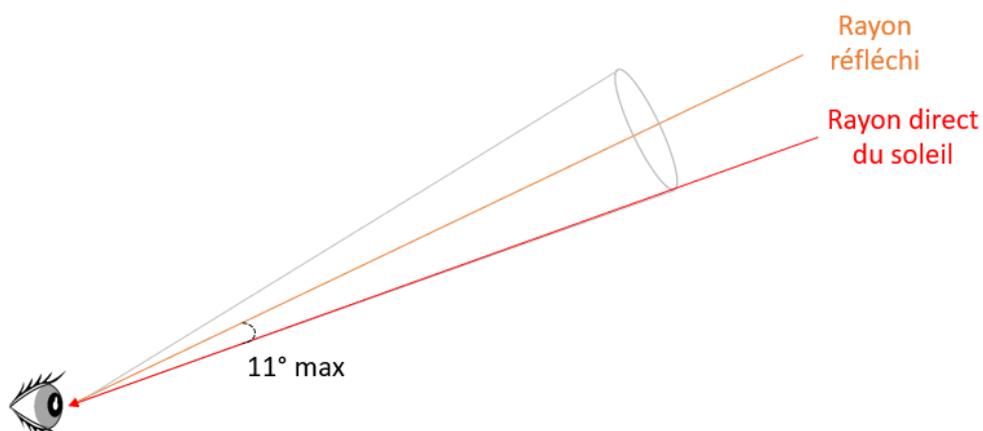
- Le centre de la figure correspond au regard dans l'axe de la trajectoire ;
- L'axe des abscisses correspond à l'angle de la vision latérale (vers la gauche ou vers la droite par rapport à la trajectoire) ;
- L'axe des ordonnées correspond à l'angle d'élévation du regard (vers le haut ou vers le bas).

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.



Toutefois, il est à noter que :

- La probabilité d'occurrence de l'éblouissement est faible dans la mesure où :
 - La durée est limitée dans la journée avec des impacts survenant pendant un laps de temps inférieur à 15 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 ;
 - L'analyse a été réalisée avec des conditions de ciel parfaitement clair, ce qui est bien entendu loin d'être toujours le cas.
- La sévérité de l'éblouissement est faible dans la mesure où :
 - L'angle entre les rayons réfléchis et les rayons directs du soleil est systématiquement inférieur à 11° si bien qu'aujourd'hui, en l'absence de générateur agrivoltaïque et pour ces mêmes instants, les automobilistes sont déjà éblouis par le soleil.

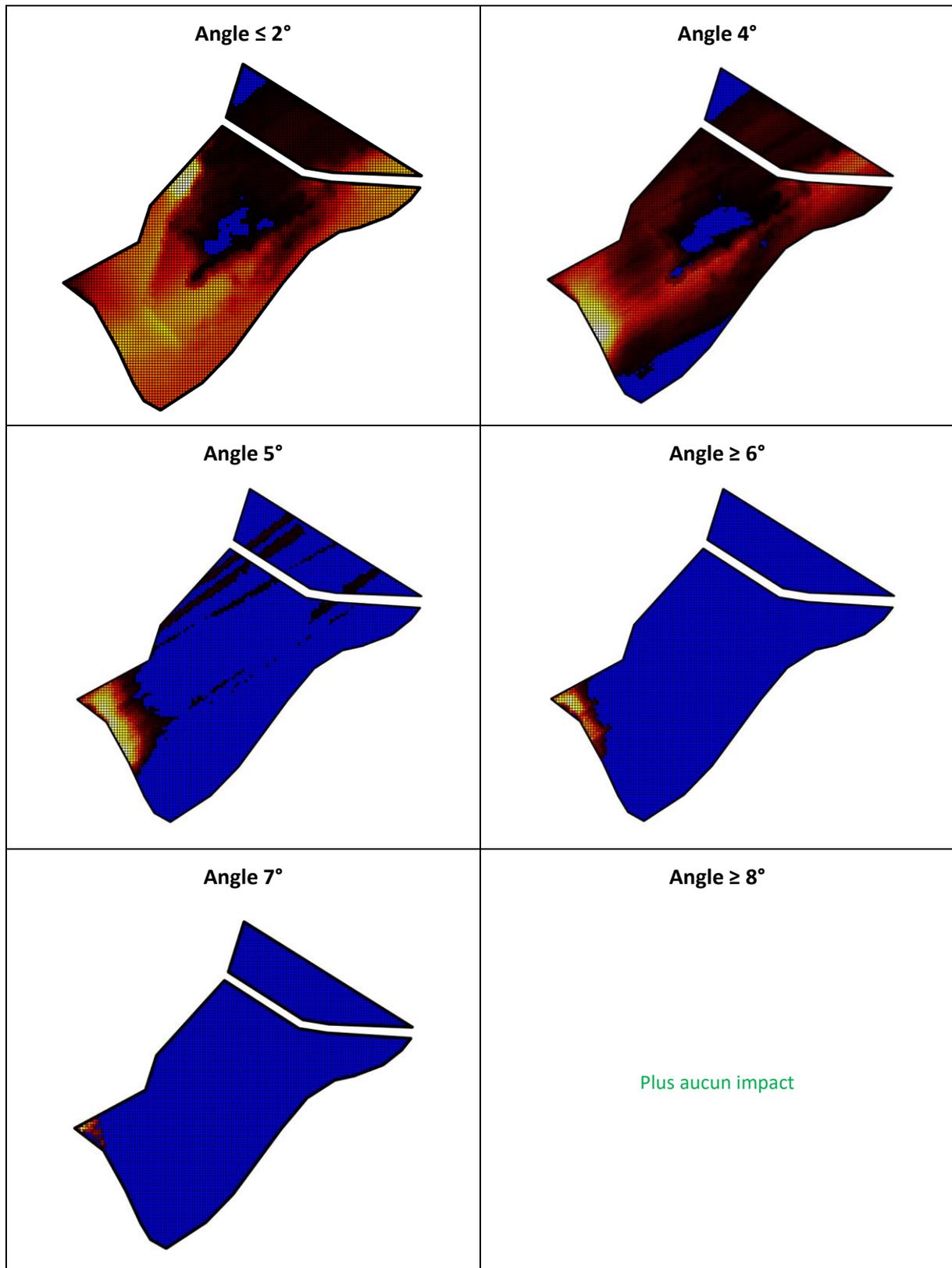


SYNTHESE DU CAS ETUDIE		
Zone d'installation agrivoltaïque	Zone 1 et 2	Zone 3
Conclusion	Risque d'éblouissement Probabilité et sévérité très faibles	
Période	Tout au long de l'année	Entre juillet et mai
Heure solaire vraie	[04h05 – 08h10] ±15 min	[04h25 – 08h05] ±15 min
Durée journalière	< 15 minutes	< 10 minutes
Élévation solaire	[0 – 2°]	[0 – 1°]
Angle trajectoire / rayons	> 3°	
Angle entre rayons réfléchis et rayons directs du Soleil	[1 – 11°]	[1 – 6°]
Tronçon impacté	Tronçon d'environ 700 m soit 36 secondes à 70 km/h	
Angle de rotation des trackers	< 5,5°	< 7,8°

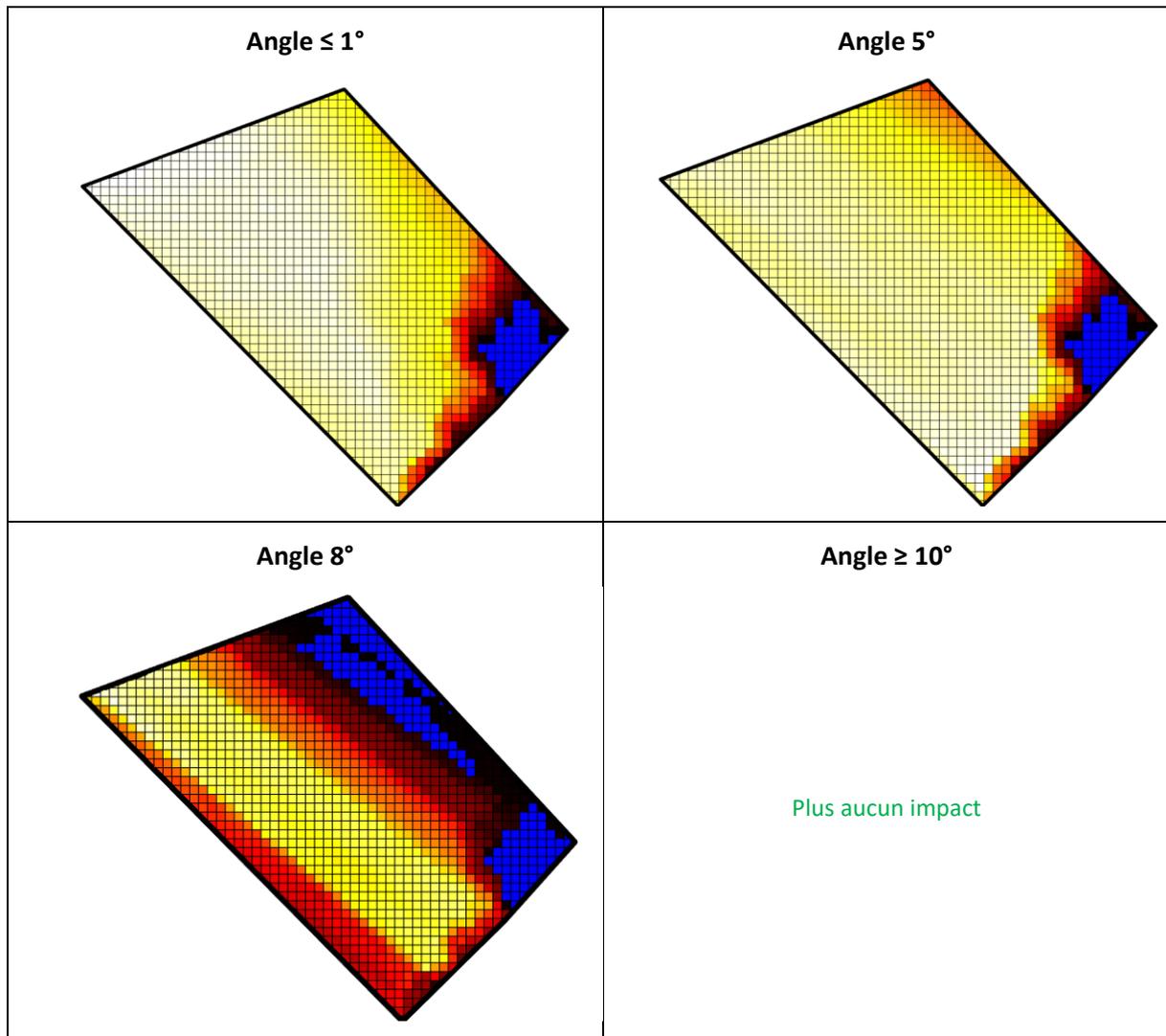
5. REMEDIATION

Des alternatives ont été recherchées afin de supprimer toutes les occurrences d'éblouissement. La solution proposée consiste à bloquer l'angle de rotation des trackers au lever ou au coucher du soleil (donc en phase backtracking) à une valeur non nulle, afin d'éviter que les tables ne soient à l'horizontale et faire en sorte que les rayons réfléchis passent au-dessus des trajectoires étudiées.

ZONES 1 ET 2



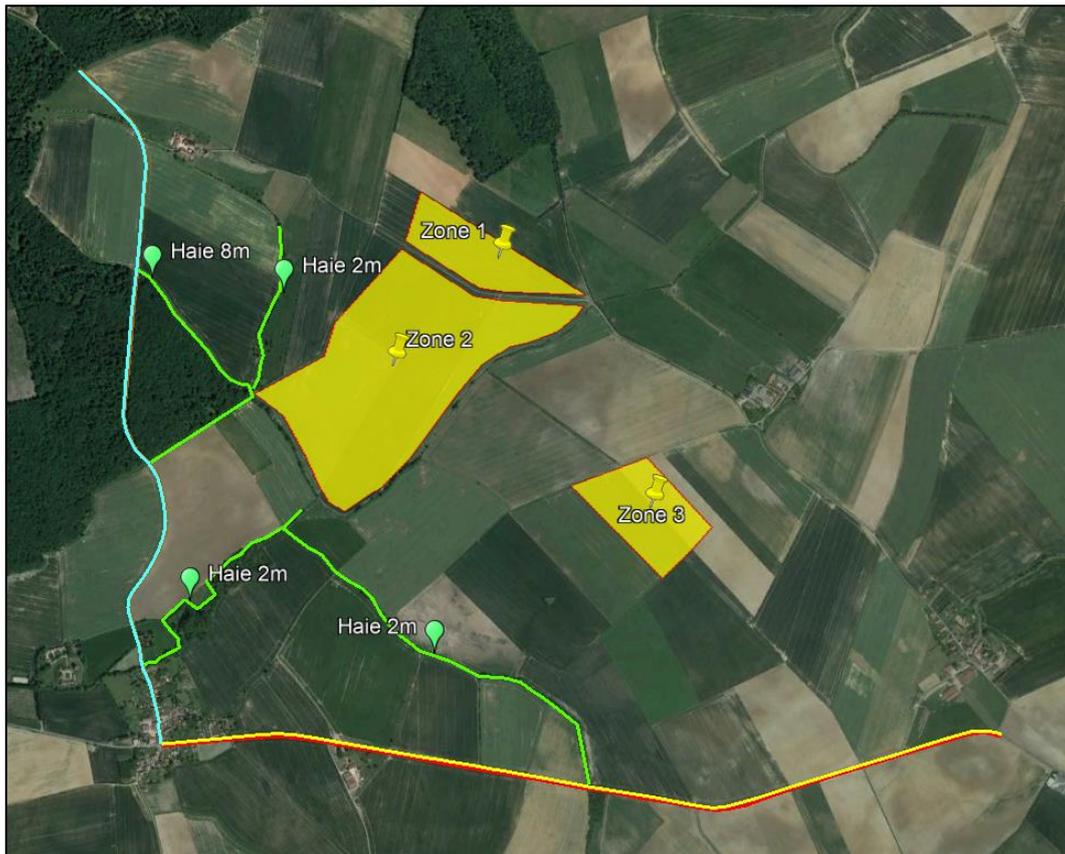
ZONE 3



6. CONCLUSION

La figure suivante présente :

- En jaune les emprises au sol du générateur ;
- En bleu, marron, jaune et rouge les trajectoires des véhicules avec une hauteur de 1,5 m pour les conducteurs ;
- En vert les haies végétales ;



L'étude de réverbération montre que le générateur agrivoltaïque va générer de l'éblouissement pour les automobilistes :

- Dans leur vision centrale et périphérique ;
- Tout au long de l'année ;
- Sur une durée journalière inférieure à 15 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 la journée avec des impacts survenant pendant un laps de temps inférieur à 15 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 faible dans la mesure où l'angle entre les rayons réfléchis et les rayons directs du soleil est systématiquement inférieur à 11° si bien qu'aujourd'hui, en l'absence de générateur agrivoltaïque et pour ces mêmes instants, les automobilistes sont déjà éblouis par le soleil.

Des alternatives ont été recherchées afin de supprimer toutes les occurrences d'éblouissement. La solution proposée consiste à bloquer l'angle de rotation des trackers au lever ou au coucher du soleil (donc en phase backtracking) à une valeur supérieure ou égale à 8° pour les zones 1 et 2 et à 10° pour la zone3, afin d'éviter que les tables ne soient à l'horizontale et faire en sorte que les rayons réfléchis passent au-dessus des automobilistes.