

Évaluation du risque d'éblouissement
par des modules photovoltaïques
(centrale au sol)
Aérodrome Le Blanc

Urba 466 

Cythelia Energy

Date : 12/04/2023
Version : 1

Rédigé par :
Clément GREGOIRE

Validé par :
Ismaël LOKHAT

Modifications :

I. Table des matières

I. Table des matières	2
II. Résumé	3
III. Méthodologie	5
III.1. Présentation générale	5
III.2. Calcul du vecteur Réflexion.....	6
III.3. Rayons réfléchis par les modules	9
III.4. Topographie	10
III.5. Vérification réglementaire	10
III.6. Nécessité d'argumentation d'absence d'éblouissement d'incapacité	12
III.6.1. Pistes.....	12
IV. Analyse du risque d'éblouissement	15
IV.1. Secteur n°1.....	15
IV.1.1. Piste NON revêtue 04R-22L	15
IV.1.2. Piste Revêtue 04-22	22
IV.1.3. Conclusion - Secteur n°1.....	28
IV.2. Secteur n°2.....	29
IV.2.1. Piste NON revêtue 04R-22L	29
IV.2.2. Piste Revêtue 04-22	34
IV.2.3. Conclusion - Secteur n°2.....	36
IV.3. Secteur n°3.....	37
IV.3.1. Piste NON revêtue 04R-22L	37
IV.3.2. Piste Revêtue 04-22	41
IV.3.3. Conclusion - Secteur n°3.....	44
IV.4. Secteur n°4.....	45
IV.4.1. Piste NON revêtue 04R-22L	45
IV.4.2. Piste Revêtue 04-22	49
IV.4.3. Conclusion - Secteur n°4.....	52
V. Annexes.....	53
V.1. Carte VAC	53
V.2. Hypothèses du calcul détaillé	54
VI. Références	56

II. Résumé

La société URBA 466 souhaite réaliser une centrale photovoltaïque au sol d'une puissance de 45 MWc environ, sur un terrain situé sur la commune de Le Blanc, à proximité de l'aérodrome de Le Blanc.

Une étude préliminaire a permis d'identifier les configurations (orientations et inclinaisons pour chaque secteur étudié) ne présentant pas de risque d'éblouissement incapacitant. Pour chaque secteur, les inclinaisons de 10° à 30° ont été étudiées par pas de 5°. Les orientations allant de -50° à +50° ont été étudiées par pas de 10° ainsi que les orientations -90° et +90°.

A l'issue de cette étude préliminaire de sensibilité, la configuration ne présentant pas de risque et décrite dans le Tableau 1 a été retenue par le client.

Secteur	Orientation (0° = Sud, -90°=Est, 90°=Ouest)	Inclinaison
1	0°	15°
2	0°	15°
3	-40°	15°
4	-40°	15°

Tableau 1 : Configuration sans risque d'éblouissement incapacitant retenue par le client

La présente étude constitue l'argumentation d'absence d'éblouissement d'incapacité demandée dans la note d'information technique (NIT) de la DGAC (5^{ème} édition du 10 novembre 2022) portant sur les dispositions relatives aux avis de la DGAC sur les projets d'installations de panneaux photovoltaïques à proximité des aérodromes.

Le tableau ci-dessous synthétise les résultats de l'analyse :

Piste	Approche	Secteur	Ori°	Inc°	Zone	Risque (Eblouissement d'incapacité)	Commentaires	
Piste NON revêtue 04R-22L	Sud-Ouest	Secteur n°1	0°	15°	Élargie	NON	Interception avec angle > 90°	
		Secteur n°2	0°	15°	Élargie	NON	Interception avec angle > 90°	
		Secteur n°3	-40°	15°	Restreinte	NON	Présence d'un éblouissement d'inconfort <u>Cas le plus critique :</u> - en zone A : Eclairage rétinien de 0.0049 W/cm ² et angle de vue de 1.6° - en zone B : Eclairage rétinien de 0.0030 W/cm ² et angle de vue de 2.2°	
		Secteur n°4	-40°	15°	Élargie	NON	Présence d'un éblouissement d'inconfort <u>Cas le plus critique :</u> - en zone A : Eclairage rétinien de 0.0026 W/cm ² et angle de vue de 3.6° - en zone B : Eclairage rétinien de 0.0019 W/cm ² et angle de vue de 3.4°	
	Nord-Est	Secteur n°1	0°	15°	Élargie	NON	Présence d'un éblouissement d'inconfort <u>Cas le plus critique :</u> Eclairage rétinien de 0.0103 W/cm ² et angle de vue de 2.3°	
		Secteur n°2	0°	15°	Élargie	NON	Présence d'un éblouissement d'inconfort <u>Cas le plus critique :</u> Eclairage rétinien de 0.0021 W/cm ² et angle de vue de 0.8°	
		Secteur n°3	-40°	15°	Restreinte	NON	Pas d'interception	
		Secteur n°4	-40°	15°	Élargie	NON	Pas d'interception	
	Piste Revêtue 04-22	Sud-Ouest	Secteur n°1	0°	15°	Élargie	NON	Interception avec angle > 90°
			Secteur n°2	0°	15°	Restreinte	NON	Interception avec angle > 90°
Secteur n°3			-40°	15°	Élargie	NON	Présence d'un éblouissement d'inconfort <u>Cas le plus critique :</u> - en zone A : Eclairage rétinien de 0.0040 W/cm ² et angle de vue de 1.4° - en zone B : Eclairage rétinien de 0.0017 W/cm ² et angle de vue de 2.5°	
Secteur n°4			-40°	15°	Élargie	NON	Présence d'un éblouissement d'inconfort <u>Cas le plus critique :</u> - en zone A : Eclairage rétinien de 0.0026 W/cm ² et angle de vue de 3.4° - en zone B : Eclairage rétinien de 0.0016 W/cm ² et angle de vue de 1.9°	
Nord-Est		Secteur n°1	0°	15°	Élargie	NON	Présence d'un éblouissement d'inconfort <u>Cas le plus critique :</u> Eclairage rétinien de 0.0080 W/cm ² et angle de vue de 2.2°	
		Secteur n°2	0°	15°	Restreinte	NON	Pas d'interception	
		Secteur n°3	-40°	15°	Élargie	NON	Pas d'interception	
		Secteur n°4	-40°	15°	Élargie	NON	Pas d'interception	

Tableau 2 : synthèse de l'analyse

Quelles que soient la piste et l'approche considérées, la centrale ne présente pas de risque d'éblouissement pour les pilotes en phase d'approche.

III. Méthodologie

III.1. Présentation générale

Une analyse graphique permet d'identifier les circonstances pendant lesquelles un risque d'éblouissement est possible. Cette approche permet de conclure très simplement, à la présence ou l'absence évidentes de risque d'éblouissement.

1. Calcul du vecteur Réflexion : pour chaque pas de temps (10 minutes) de chaque jour moyen de chaque mois¹, à l'exception des mois de Juin et Décembre, pour lesquels les jours de solstices sont considérés, les directions dans lesquelles les rayons du soleil sont réfléchis par les modules sont déterminées.
2. Modélisation 3D (sous SketchUp) des surfaces de réflexion et identification des intersections entre surfaces de réflexion et zones sensibles.

En créant une surface entre deux rayons consécutifs (le parcours du rayon pendant les 10 minutes est ainsi représenté de manière continue), il est possible de visualiser graphiquement des « surfaces » d'éblouissement pour chaque mois, représentées en jaune sur la figure suivante.

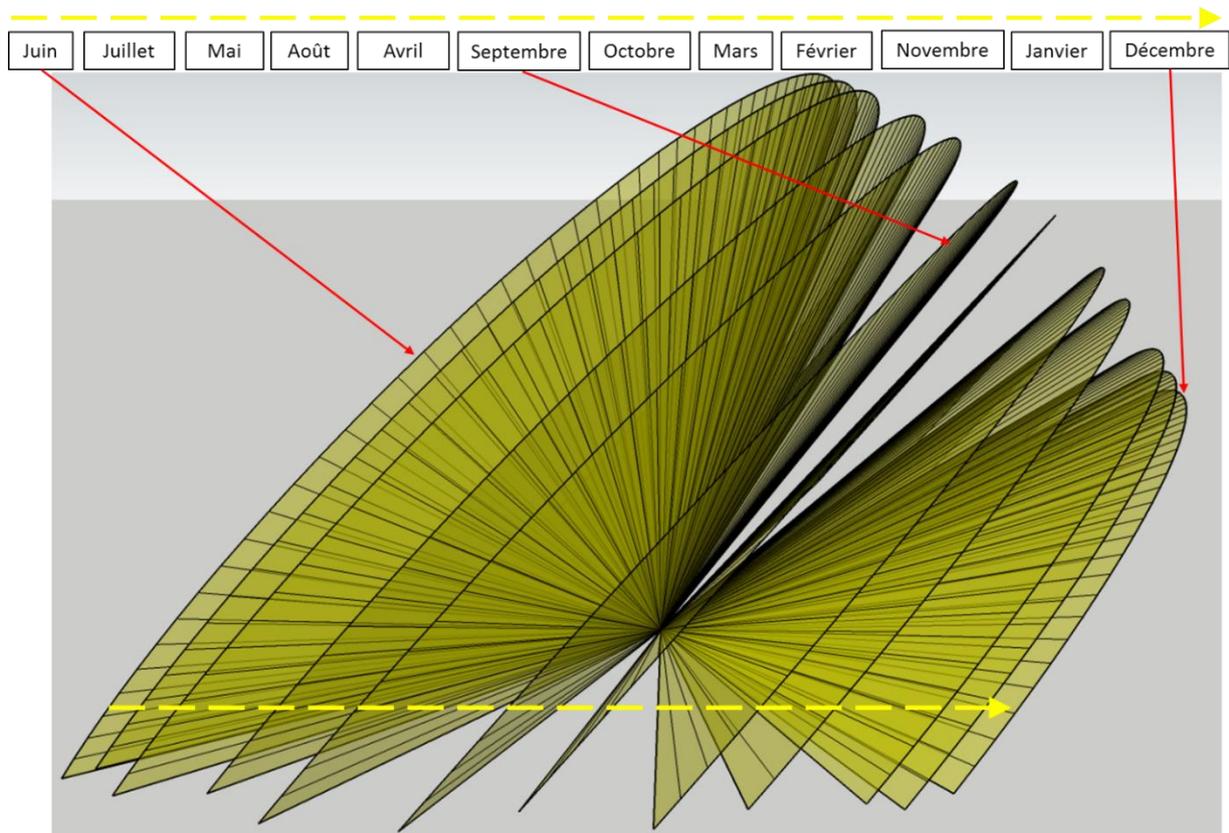


Figure 1 : Surfaces de rayons réfléchis (exemple)

De même, les jours non représentés graphiquement sont visuellement interpolables, entre deux surfaces qui représentent le parcours des rayons réfléchis pendant les deux jours moyens de deux mois consécutifs. **Ce volume constitué par l'ensemble de ces surfaces contient donc la totalité des rayons réfléchis pour toutes les heures de l'année.**

¹ Le jour moyen est défini comme étant le jour pour lequel la déclinaison est la plus proche de la déclinaison moyenne du mois considéré (Duffie & Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, d'après Klein (1977)).

L'analyse graphique considère ainsi toutes les positions prises par le soleil au-dessus de l'horizon à tout instant du jour et de l'année.

3. Contrôle de l'angle² entre rayons réfléchis et l'axe du regard du pilote, le cas échéant. Les angles retenus pour déterminer l'absence ou non d'un éblouissement d'incapacité sont ceux qui figurent dans la précédente NIT (v4) :
 - Pour un projet en zone A, l'angle doit être supérieur à 30° ;
 - Pour un projet en zone B ou C, l'angle doit être supérieur à 90°, quand l'aéronef est en zone B ou C. Si l'aéronef est en zone A, l'angle doit être supérieur à 30° ;

Lorsque l'analyse graphique ne permet pas d'écarter très clairement le risque d'éblouissement, un calcul détaillé des angles d'interception au cours de la période à risque est réalisé. Ce calcul se fait non plus seulement sur les jours moyens, mais sur l'ensemble des jours et heures a priori concernés par le risque.

Lorsque les angles d'interception sont inférieurs aux seuils définis plus haut, on considère qu'un risque d'éblouissement existe, et le calcul est complété par une évaluation du type d'éblouissement : d'inconfort ou d'incapacité.

Un éblouissement d'incapacité se traduit par la possibilité d'apparition d'une image rémanente sur la rétine, qui affecte la capacité à percevoir les objets. Lorsque cette possibilité est faible, l'éblouissement sera dit d'inconfort, et n'affecte pas la capacité à percevoir les objets.

Les hypothèses de ce calcul sont détaillées en annexe (cf. § V.2).

III.2. Calcul du vecteur Réflexion

Les coordonnées du site sont : 46.6204427840845 ; 1.0858745484593395

² Le contrôle de l'angle se fait dans les 3 dimensions. L'angle minimum admis est ainsi le même dans le plan azimutal et le plan vertical

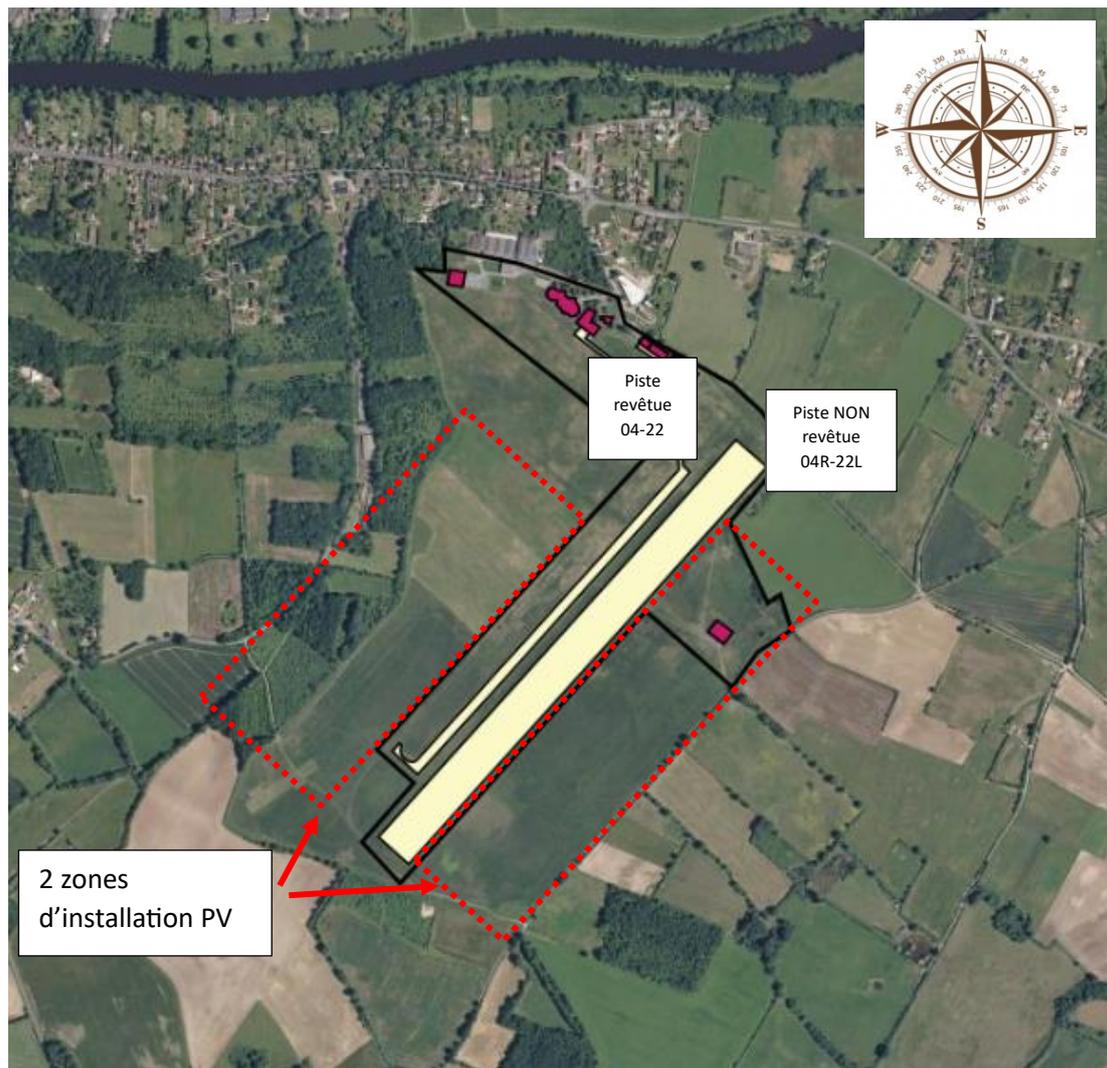


Figure 2 : Localisation des 2 pistes par rapport au projet

Grâce aux coordonnées géographiques du site, il est possible de générer le diagramme solaire représenté en Figure 3. Dans ce diagramme, les azimuts ont pour origine le Sud et sont comptés positivement vers l'Ouest et négativement vers l'Est. Ce diagramme est donné pour des jours moyens de chaque mois.

Ainsi, heure par heure, nous connaissons la position du soleil dans le ciel au moyen de deux grandeurs : hauteur angulaire et azimut.

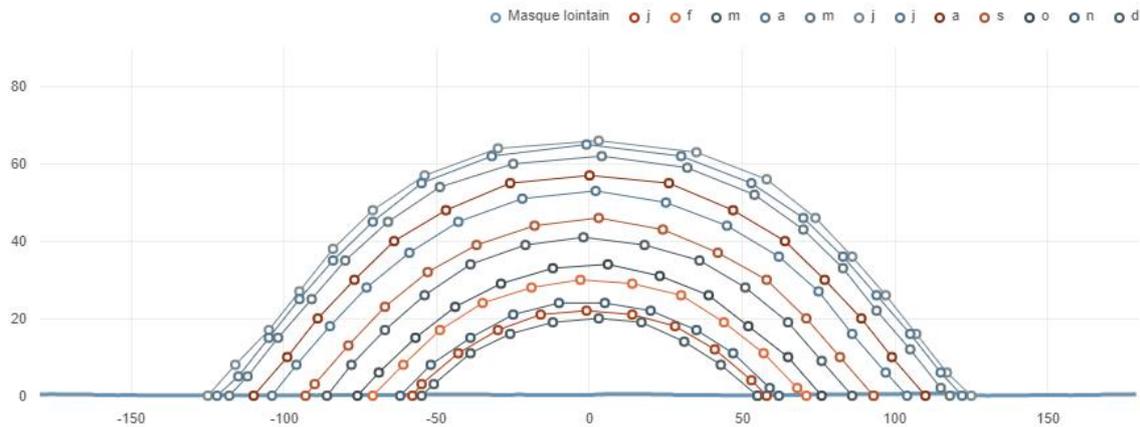


Figure 3 : Masque lointain sur le site

Nous définissons un système de coordonnées orthonormé ayant pour origine le centre d'un des modules. L'axe des X est orienté vers l'Est, celui des Y vers le Nord, et l'axe des Z caractérise l'élévation.

On peut donc calculer le vecteur définissant la position du soleil, \vec{V}_{inc}

Il est possible de calculer le vecteur réflexion \vec{V}_{ref} au moyen de la relation :

$$\vec{V}_{ref} = \frac{2 \cdot \vec{V}_{inc} \cdot \vec{n}}{\|\vec{n}\|^2} \vec{n} - \vec{V}_{inc}$$

\vec{n} : vecteur normal au plan des modules

Nous calculons les vecteurs « réflexion » pour chaque jour moyen du mois, toutes les 10 minutes.

Le vecteur incident, et donc le vecteur réfléchi, sont nuls lorsque la hauteur du soleil est inférieure à la hauteur du masque (pour l'azimut du soleil).

La Figure 3 permet également de visualiser le **masque lointain** constitué par le relief alentour. Les données utilisées pour le calcul du masque lointain sont issues des données SRTM diffusées par la NASA, disponibles sur ce site : <http://srtm.csi.cgiar.org/>

Le masque lointain est pris en compte dans l'analyse. Aucun rayon n'est donc réfléchi quand le soleil masqué par le relief.

III.3. Rayons réfléchis par les modules

En calculant les rayons réfléchis par les modules toutes les 10 minutes pour chaque jour, et en créant une surface entre deux rayons consécutifs (parcours du rayon pendant les 10 minutes), il est possible de visualiser graphiquement des « surfaces » d'éblouissement pour chaque mois.

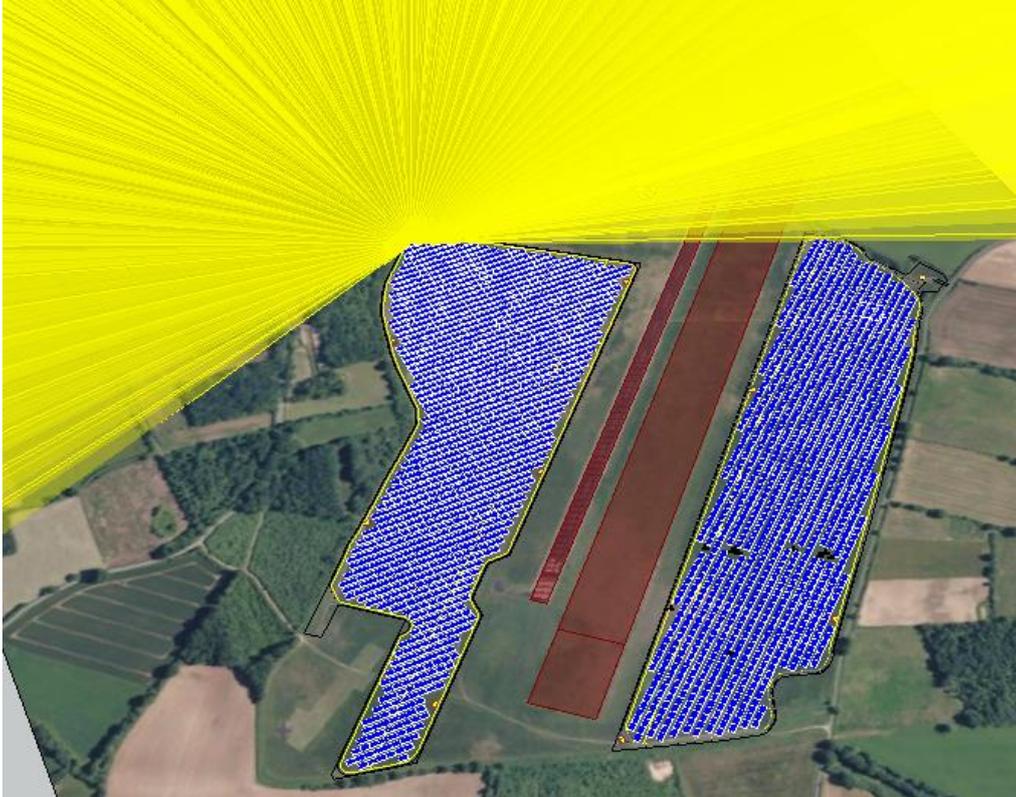


Figure 4 : Représentation 3D des rayons réfléchis sur 12 mois

L'ajout d'un attribut sur les rayons 3D permet de connaître à quels jours et heures de l'année correspondent chacun des segments représentant les rayons réfléchis.

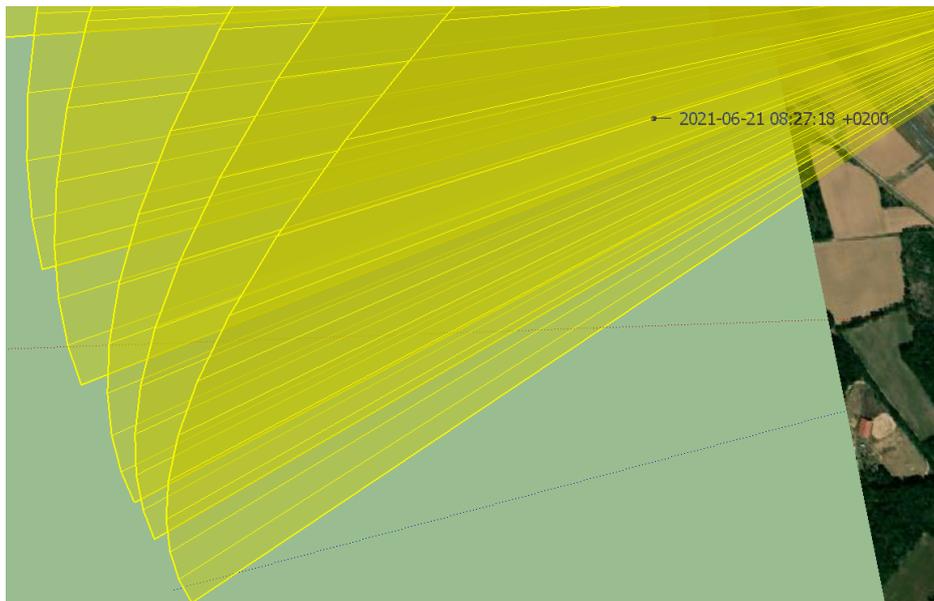


Figure 5 : Accès aux dates et heures de la représentation des rayons réfléchis

III.4. Topographie

La topographie entre la centrale et les pistes n'est pas prise en compte, les rayons réfléchis ne sont donc pas arrêtés par le terrain. Les dénivellations sont en effet négligeables.

III.5. Vérification réglementaire

L'installation est prévue sur un terrain d'environ 36,76 ha, elle est composée de plus de 74 000 modules photovoltaïques qui représentent une puissance de 45 MWc environ.

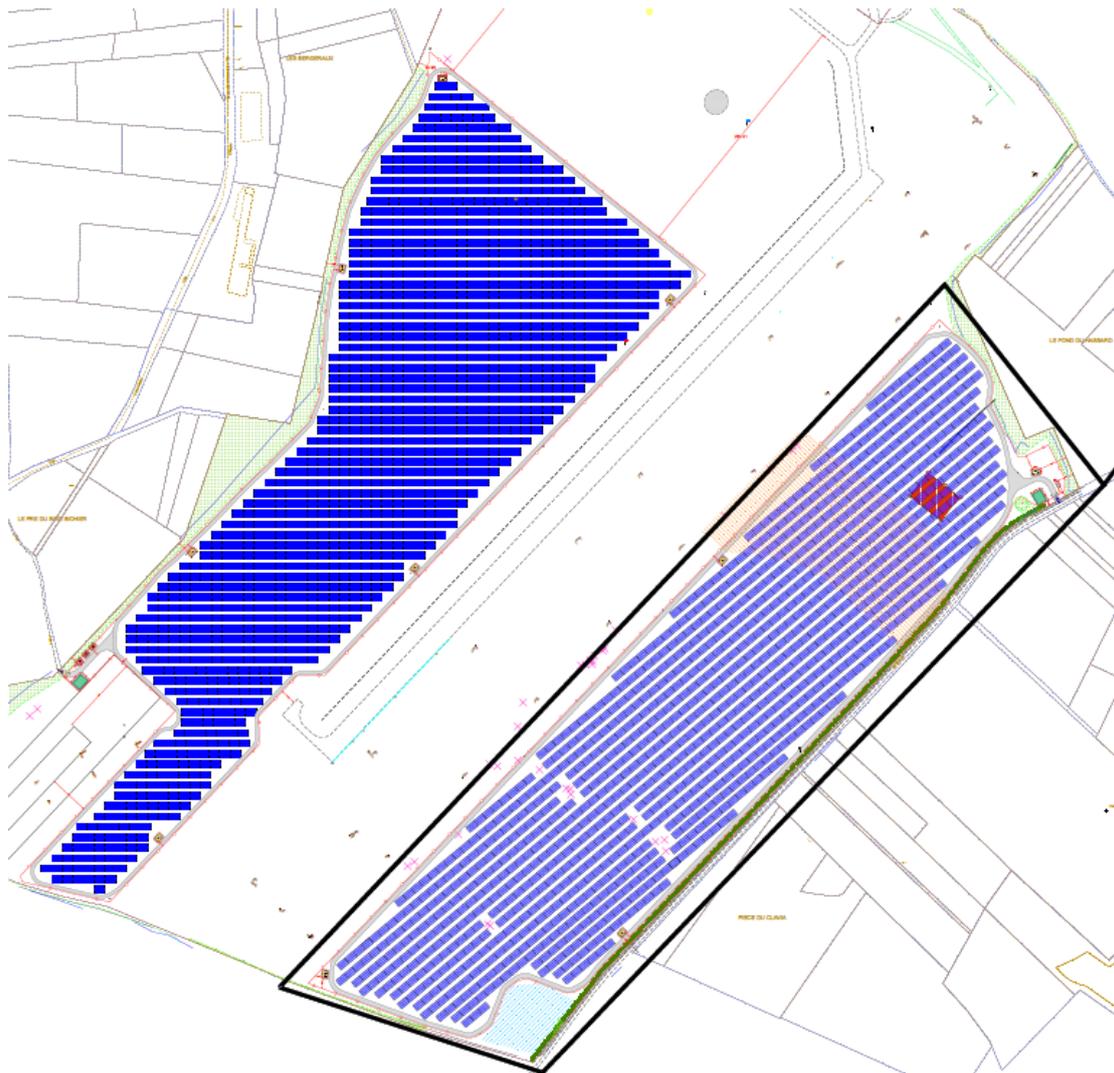


Figure 6 : implantation des modules

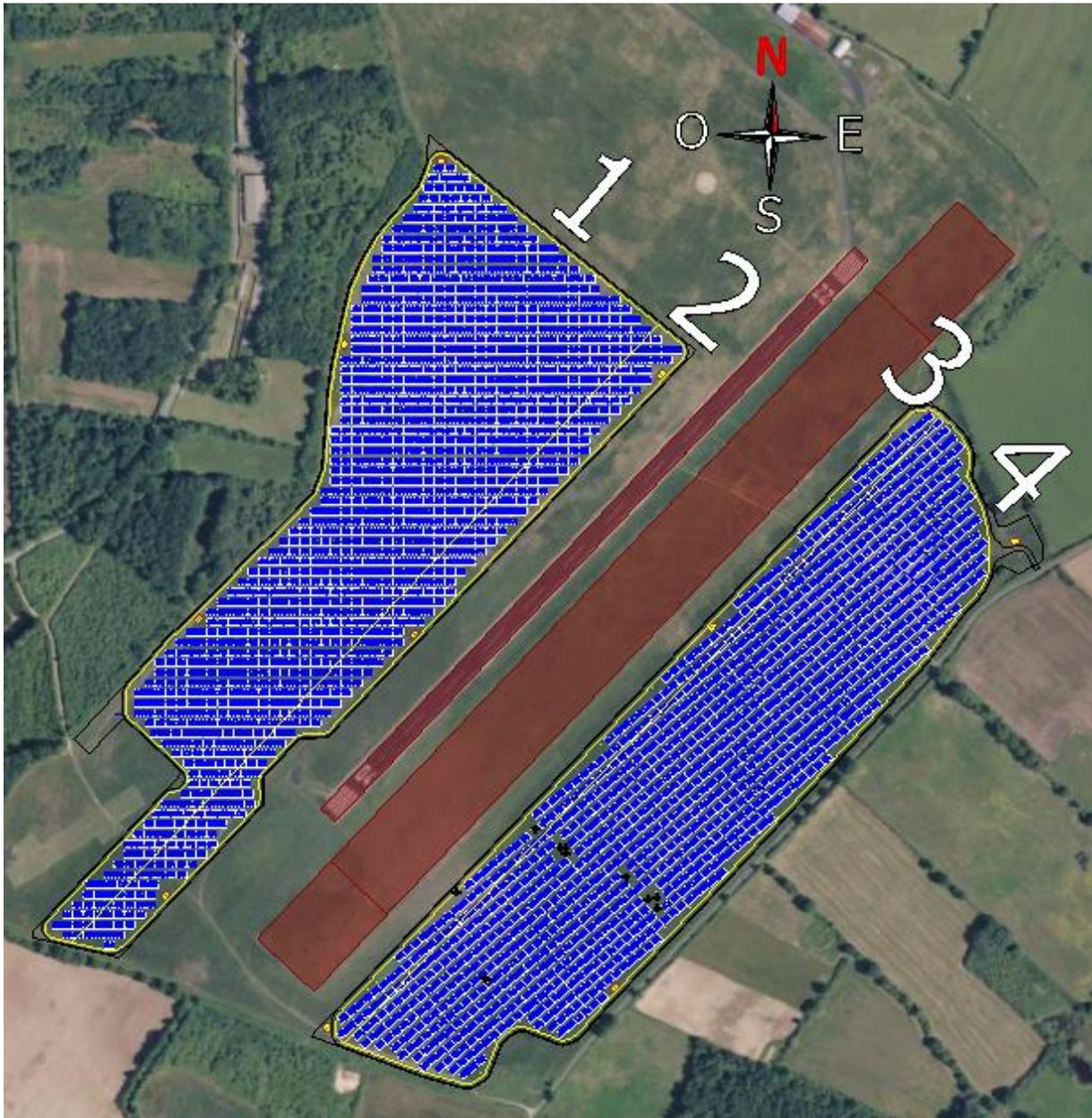


Figure 7 : implantation des modules par rapport aux pistes

La centrale présente plusieurs couples d'orientation et d'inclinaison des modules.

- Secteur n°1 avec une inclinaison de 15° et une orientation de 0°
- Secteur n°2 avec une inclinaison de 15° et une orientation de 0°
- Secteur n°3 avec une inclinaison de 15° et une orientation de -40°
- Secteur n°4 avec une inclinaison de 15° et une orientation de -40°

La première étape consiste à une vérification de la zone d'emplacement de la centrale PV par rapport aux pistes. L'implantation des modules est telle que les modules les plus proches sont situés environ 35m de la piste la plus proche.

La centrale étant située à moins de 3 km de l'aérodrome, la production d'un dossier portant sur le premier objectif de l'étude de sécurité (« Maîtrise de l'éblouissement ») est donc nécessaire.

III.6. Nécessité d'argumentation d'absence d'éblouissement d'incapacité

III.6.1. Pistes

L'aérodrome Le Blanc dispose de deux pistes, indiquées sur la carte VAC dont un extrait est reproduit en Figure 8 :

- Piste Revêtue 04-22 avec une approche Sud-Ouest (QFU : 41°) et une approche Nord-Est (QFU : 221°)
- Piste NON revêtue 04R-22L avec une approche Sud-Ouest (QFU : 41°) et une approche Nord-Est (QFU : 221°)

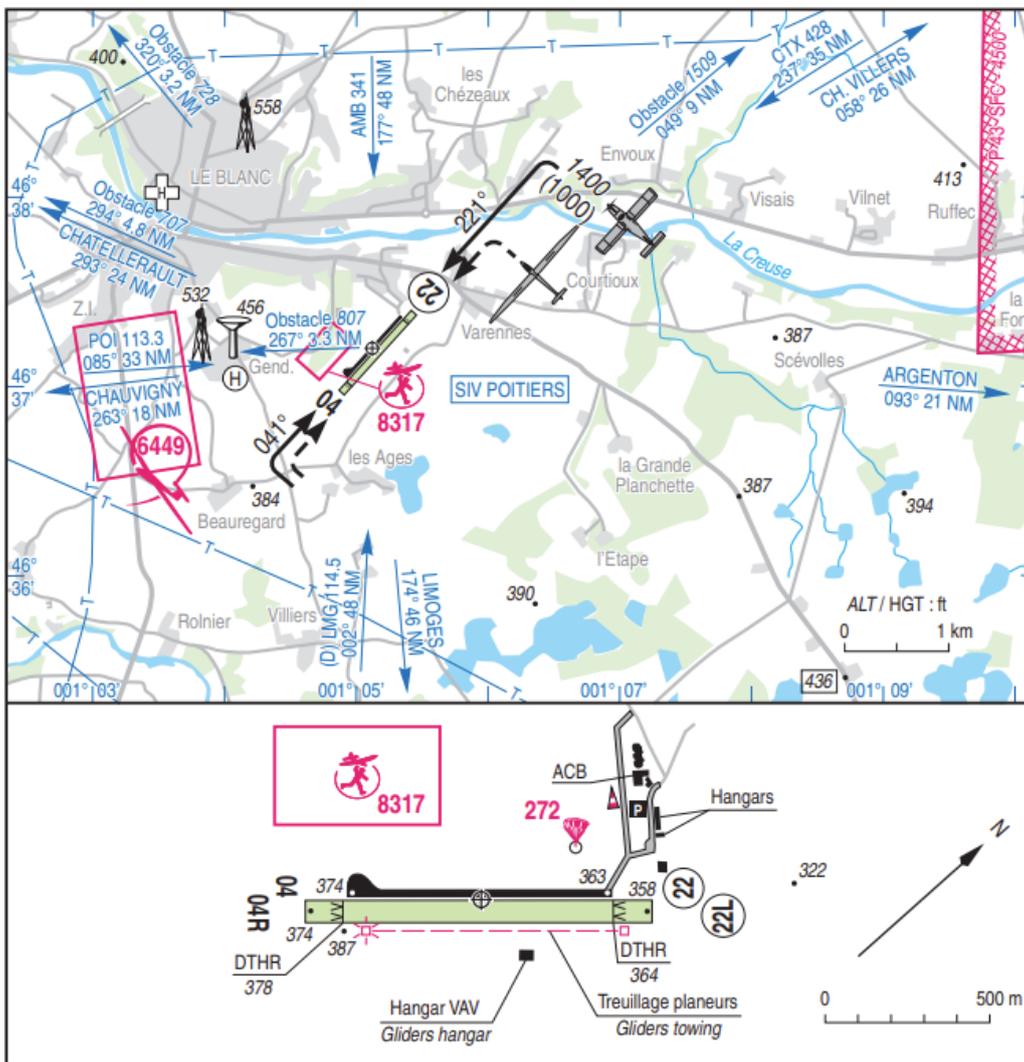


Figure 8 : extrait carte VAC

Les figures suivantes présentent la localisation de la centrale par rapport aux zones définies au § 4.3.4.3 de la NIT v5.

• NON revêtue 04R-22L



Figure 9 : Repérage des zones « restreinte » (■) et « élargie » (□) – Piste NON revêtue 04R-22L

• Revêtue 04-22



Figure 10 : Repérage des zones « restreinte » (■) et « élargie » (■) – Piste Revêtue 04-22

La centrale est située dans la zone « restreinte », **une argumentation d'absence d'éblouissement d'incapacité est donc nécessaire.**

IV. Analyse du risque d'éblouissement

Nous étudierons le cas des rayons réfléchis par les modules pour chaque piste et approche.

Nous considérons pour les trajectoires d'approche, conformément au § 4.3.4.4 de la NIT, une pente de 3°, depuis une distance de 3 km, jusqu'au seuil de piste.

Sur les vues suivantes, les zones en bleu ciel correspondent aux trajectoires d'approche ainsi modélisées (*pour les avions* : avec une marge de $\pm 2^\circ$ sur la pente, afin de rendre plus visibles ces volumes d'approche, et simplifier l'analyse graphique).

IV.1. Secteur n°1

IV.1.1. Piste NON revêtue 04R-22L

• Approche Sud-Ouest (QFU : 41°)

Les modules du secteur n°1 se situent en zone élargie pour l'approche Sud-Ouest de la piste NON revêtue 04R-22L.

La surface des modules du secteur n°1 est de 133000 m². Elle est supérieure à la limite de 500 m² définie par la DGAC dans le cas présent. La vérification de l'absence de gêne est donc nécessaire.

La figure ci-dessous montre que les rayons réfléchis par les modules du secteur n°1 interceptent les aéronefs pour l'approche Sud-Ouest de la piste NON revêtue 04R-22L

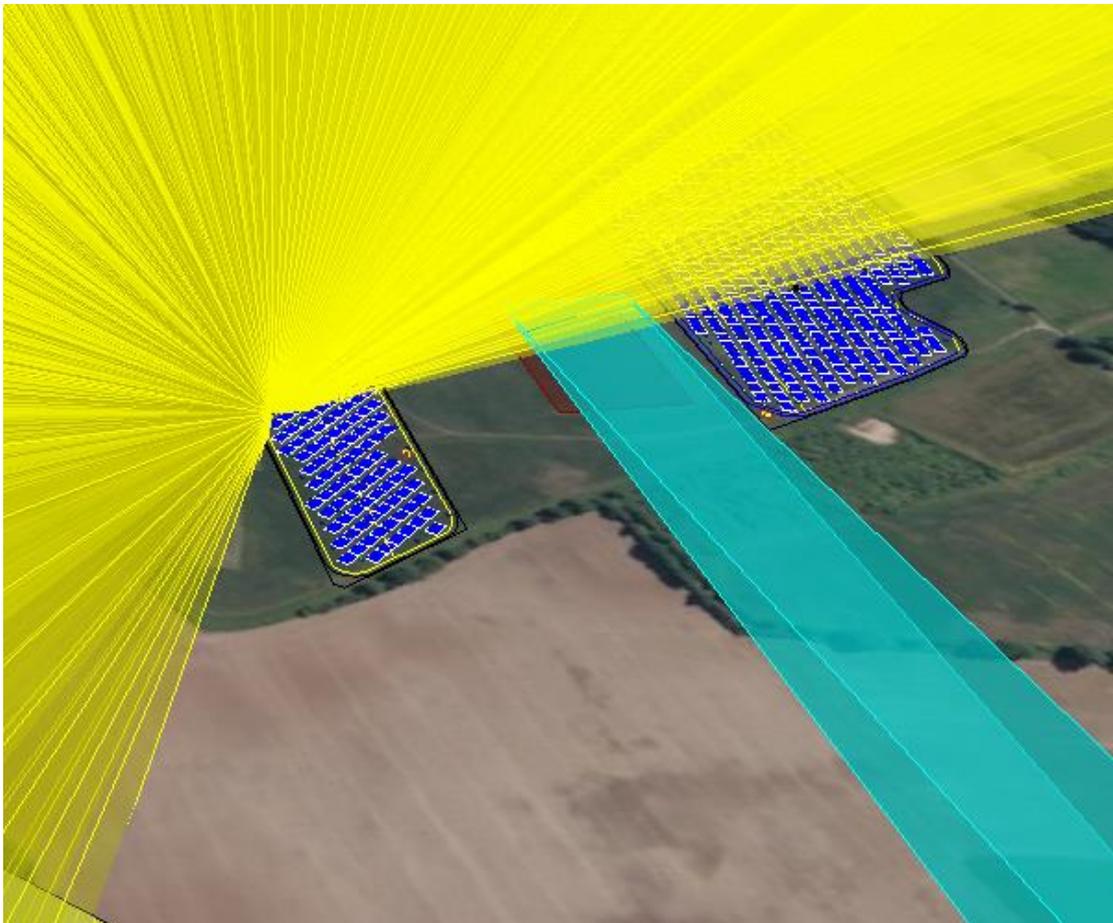


Figure 11 : Rayons réfléchis - Piste NON revêtue 04R-22L : Sud-Ouest - Secteur n°1

Comme décrit au § III, les angles minimums admissibles entre les rayons réfléchis et l'axe du regard du pilote sont ceux qui figurent dans la NIT v4. Ces angles sont associés à 3 zones A, B et C définies dans le même document³.

La figure suivante représente les zones A, B et C pour l'approche.



Figure 12 : Repérage des Zones A (■), B (■) et C (■) – Piste NON revêtue 04R-22L : Sud-Ouest

Un calcul détaillé réalisé pour tous les jours de l'année, montre l'absence d'interception sous un angle inférieur ou égal à 90° . Sur la figure ci-dessous, les rayons en blancs correspondent aux rayons réfléchis par le module et interceptés avec un angle supérieur à 90° (et les rayons rouges correspondent aux rayons réfléchis par le module et interceptés avec un angle inférieur à 90°).

Dans le présent cas, l'angle minimal d'interception calculé est de 108° . Les angles d'interception sont donc supérieurs à 90° : il n'y a pas de risque d'éblouissement.

³ A l'exception de la zone C pour laquelle un angle de 90° est retenu, comme indiqué au § III.1.

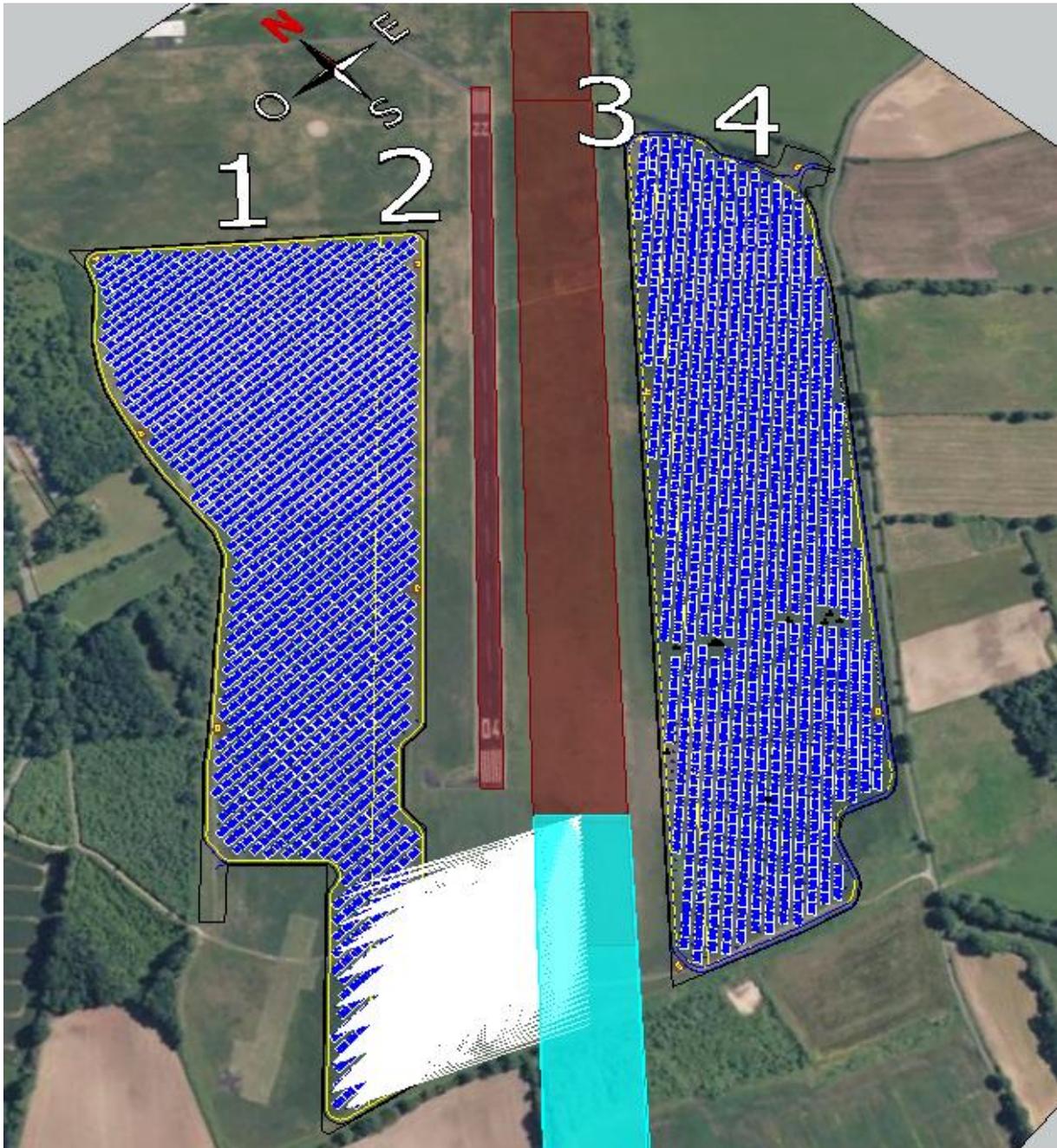


Figure 13 : Rayons réfléchis - Piste NON revêtue 04R-22L : Sud-Ouest - Secteur n°1
Angle d'interception : > 90° (□), ≤ 90° (■)

• Approche Nord-Est (QFU : 221°)

Les modules du secteur n°1 se situent en zone élargie pour l'approche Nord-Est de la piste NON revêtue 04R-22L.

La surface des modules du secteur n°1 est de 133 000 m². Elle est supérieure à la limite de 500 m² définie par la DGAC dans le cas présent. La vérification de l'absence de gêne est donc nécessaire.

La figure ci-dessous montre que les rayons réfléchis par les modules du secteur n°1 interceptent les avions pour l'approche Nord-Est de la piste NON revêtue 04R-22L

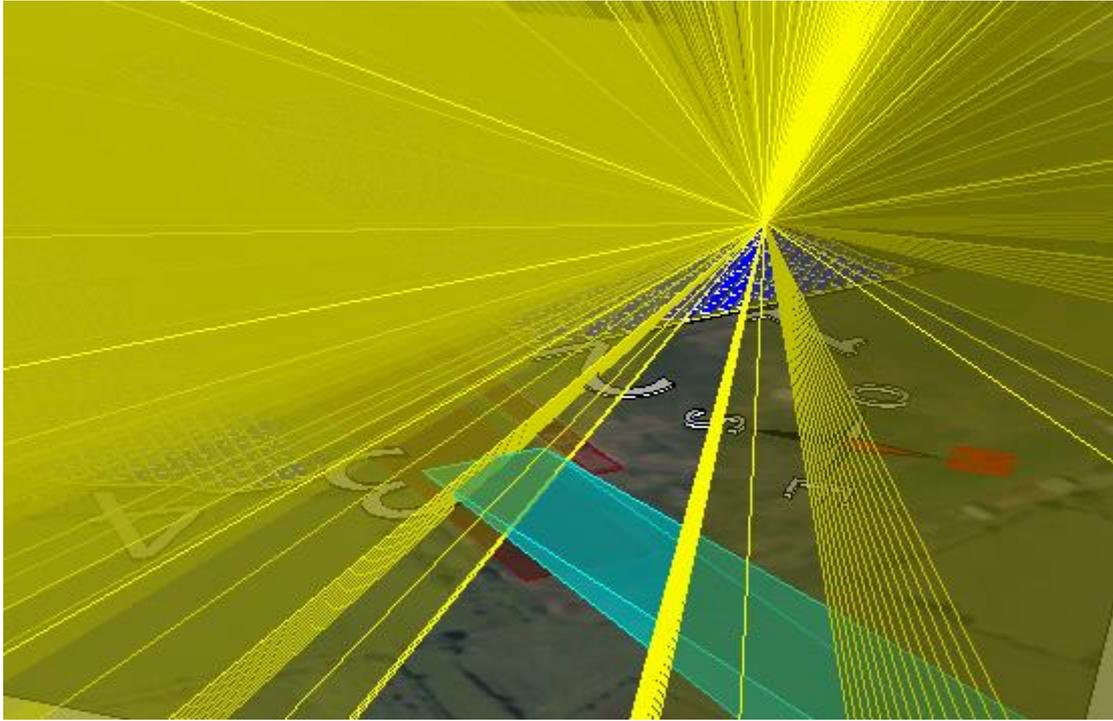


Figure 14 : Rayons réfléchis - Piste NON revêtue 04R-22L : Nord-Est - Secteur n°1

Comme décrit au § 0, les angles minimums admissibles entre les rayons réfléchis et l'axe du regard du pilote sont ceux qui figurent dans la NIT v4. Ces angles sont associés à 3 zones A, B et C définies dans le même document⁴.

La figure suivante représente les zones A, B et C pour l'approche.

⁴ A l'exception de la zone C pour laquelle un angle de 90° est retenu, comme indiqué au § III.1.



Figure 15 : Repérage des Zones A (■), B (■) et C (■) – Piste NON revêtue 04R-22L : Nord-Est

Un calcul détaillé, réalisé pour tous les jours de l'année, montre que les rayons réfléchis interceptant les aéronefs n'induisent pas d'éblouissement d'incapacité pour les pilotes dans cette approche.

Les figures et le tableau ci-dessous exposent les résultats de ces calculs.

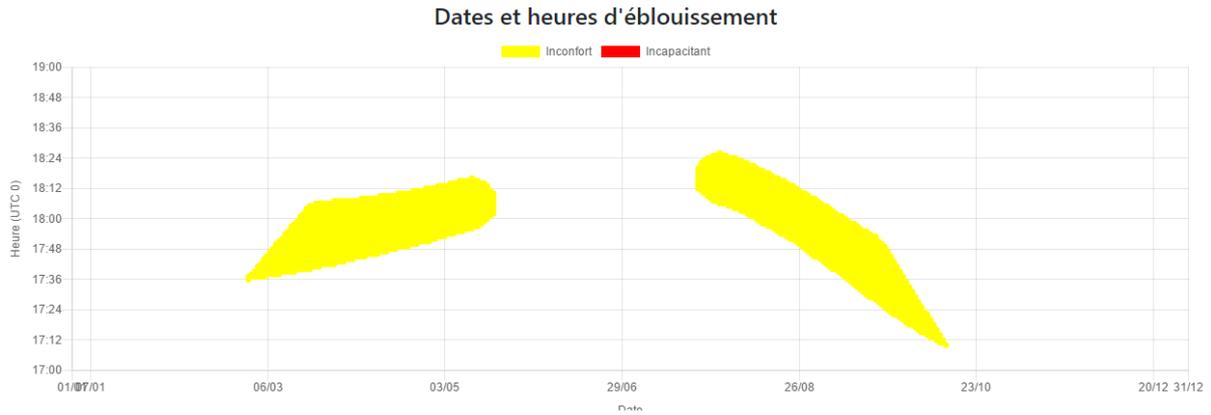


Figure 16 : Dates et heures d'éblouissement - Piste NON revêtue 04R-22L : Nord-Est - Secteur n°1

Les éblouissements d'inconfort sont observés entre 17h10 et 18h26.

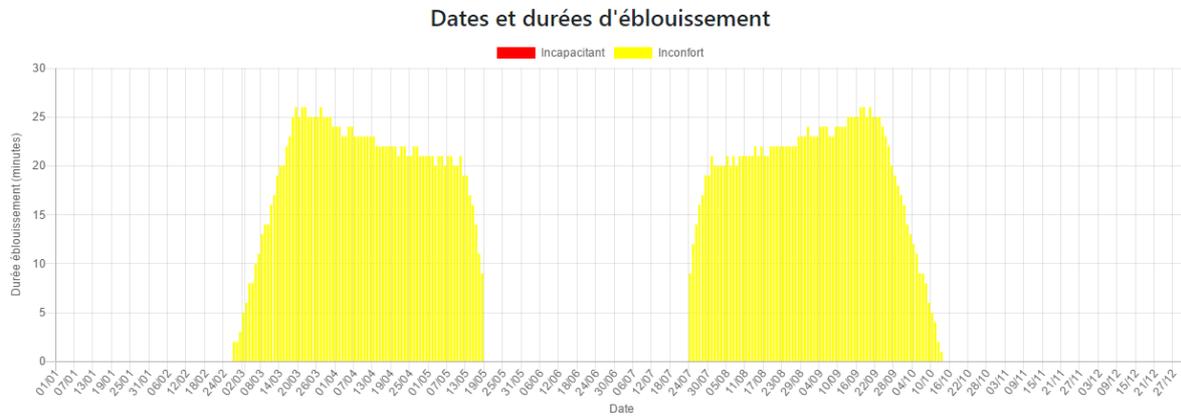


Figure 17 : Dates et durées journalières d'éblouissement - Piste NON revêtue 04R-22L : Nord-Est - Secteur n°1

Durée éblouissement (minutes)		Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Année
Cumul	Inconfort	0	4	582	671	332	0	127	665	704	110	0	0	3195
	Incapacitant	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	0	4	582	671	332	0	127	665	704	110	0	0	3195
Moyenne journalière	Inconfort	0	2	18	22	18	0	15	21	23	8	0	0	19
	Incapacitant	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	0	2	18	22	18	0	15	21	23	8	0	0	19

Tableau 3 : Durées (cumuls et moyennes) d'éblouissement (en minutes) - Piste NON revêtue 04R-22L : Nord-Est - Secteur n°1

Caractérisation du risque d'éblouissement

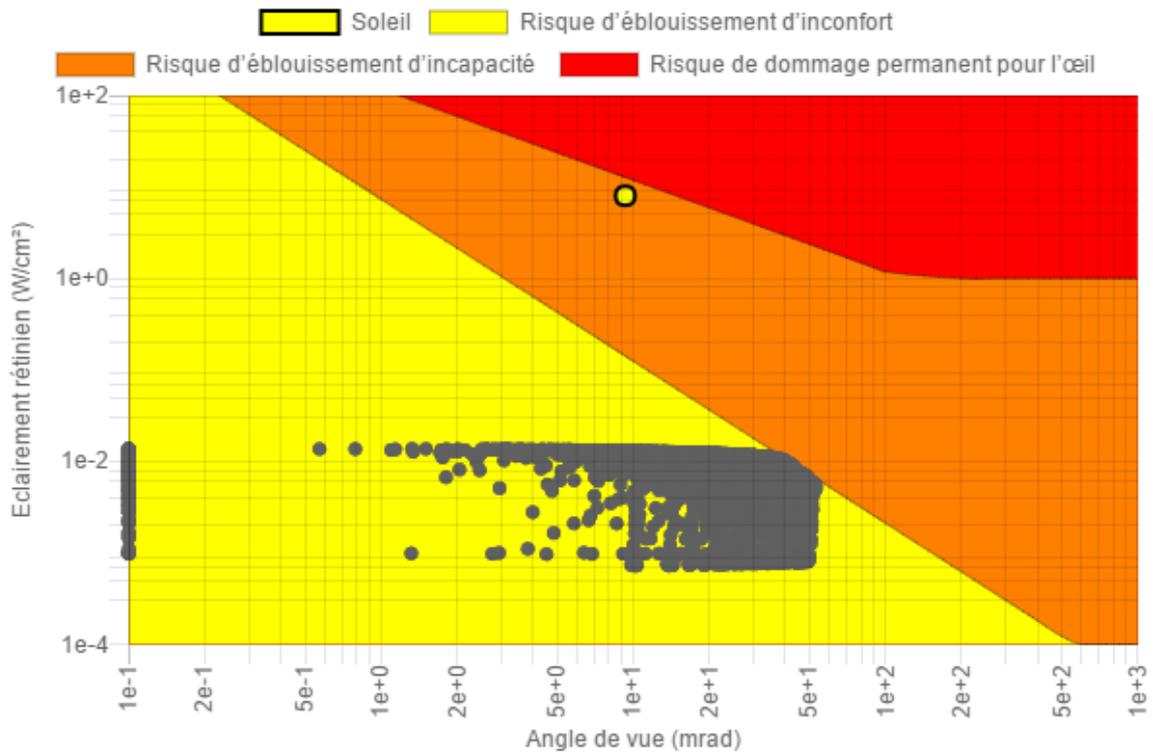


Figure 18 : Diagramme d'impact oculaire permettant de caractériser le risque d'éblouissement - Piste NON revêtue 04R-22L : Nord-Est - Secteur n°1

Caractérisation du risque d'éblouissement

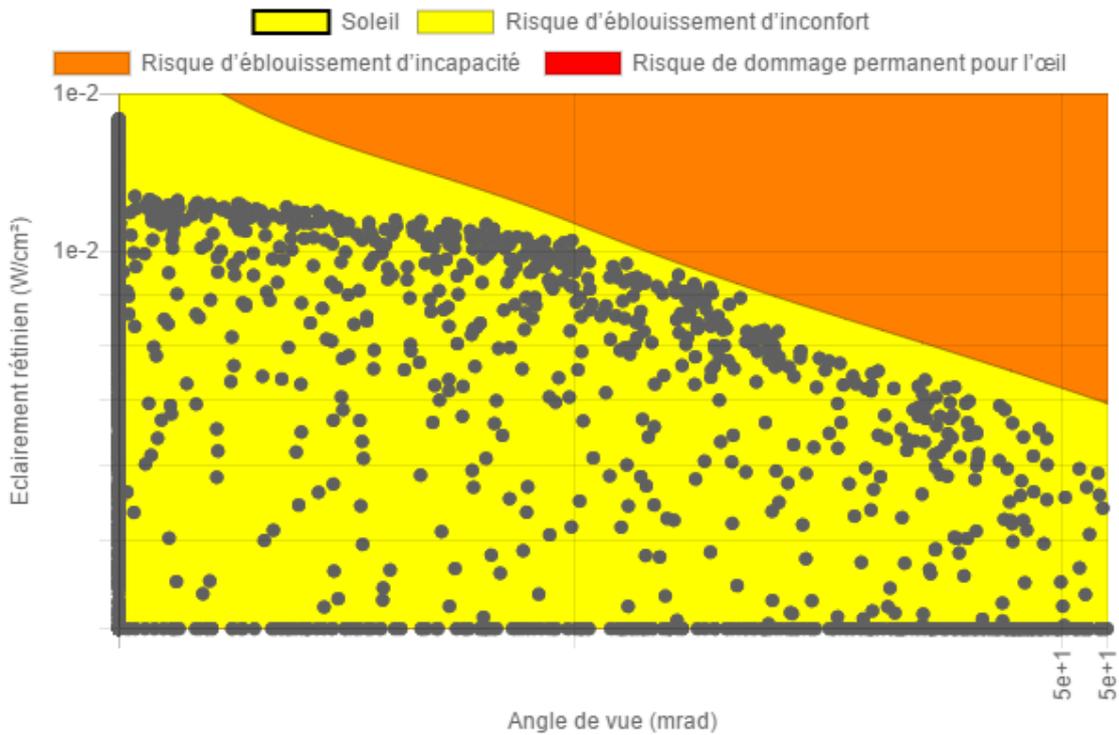


Figure 19 : Zoom de la Figure 18 sur la frontière inconfort/ incapacité pour ce cas

IV.1.2. Piste Revêtue 04-22

- Approche Sud-Ouest (QFU : 41°)

Les modules du secteur n°1 se situent en zone élargie pour l'approche Sud-Ouest de la piste Revêtue 04-22.

La surface des modules du secteur n°1 est de 133 000 m². Elle est supérieure à la limite de 500 m² définie par la DGAC dans le cas présent. La vérification de l'absence de gêne est donc nécessaire.

La figure ci-dessous montre que les rayons réfléchis par les modules du secteur n°1 interceptent les aéronefs pour l'approche Sud-Ouest de la piste Revêtue 04-22.

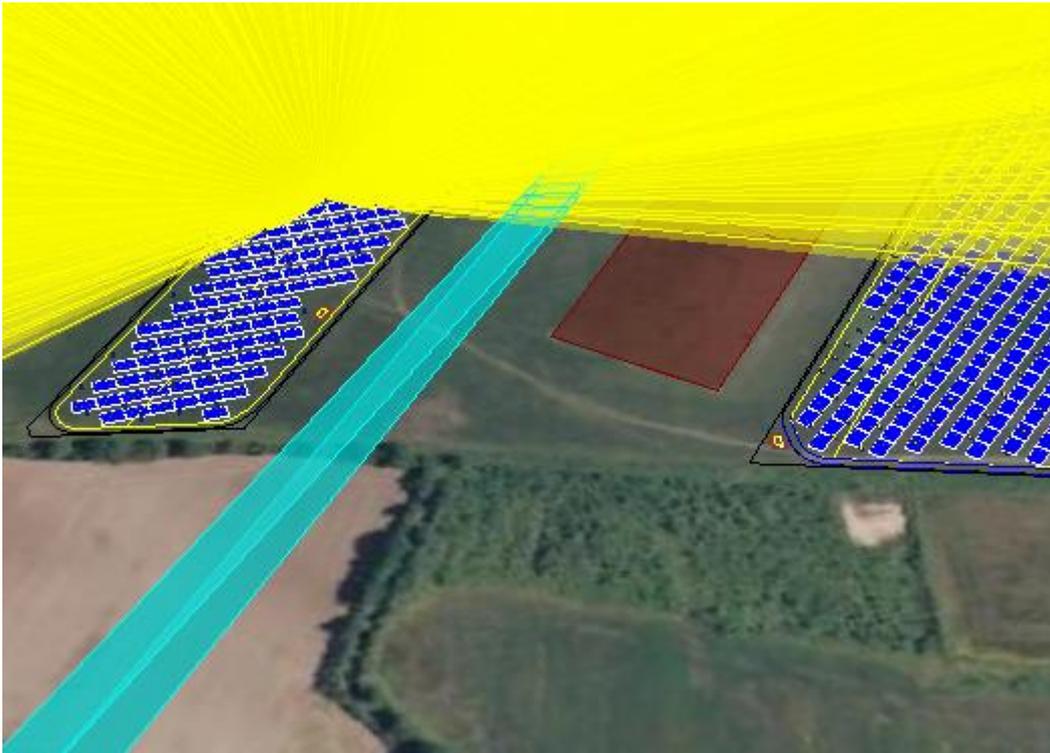


Figure 20 : Rayons réfléchis - Piste Revêtue 04-22 : Sud-Ouest - Secteur n°1

Comme décrit au § III, les angles minimums admissibles entre les rayons réfléchis et l'axe du regard du pilote sont ceux qui figurent dans la NIT v4. Ces angles sont associés à 3 zones A, B et C définies dans le même document⁵.

La figure suivante représente les zones A, B et C pour l'approche.

⁵ A l'exception de la zone C pour laquelle un angle de 90° est retenu, comme indiqué au § III.1.



Figure 21 : Repérage des Zones A (■), B (■) et C (■) – Piste Revêtue 04-22 : Sud-Ouest

Un calcul détaillé réalisé pour tous les jours de l'année, montre l'absence d'interception sous un angle inférieur ou égal à 90° . Sur la figure ci-dessous, les rayons en blancs correspondent aux rayons réfléchis par le module et interceptés avec un angle supérieur à 90° (et les rayons rouges correspondent aux rayons réfléchis par le module et interceptés avec un angle inférieur à 90°).

Dans le présent cas, l'angle minimal d'interception calculé est de 108° . Les angles d'interception sont donc supérieurs à 90° : il n'y a pas de risque d'éblouissement.

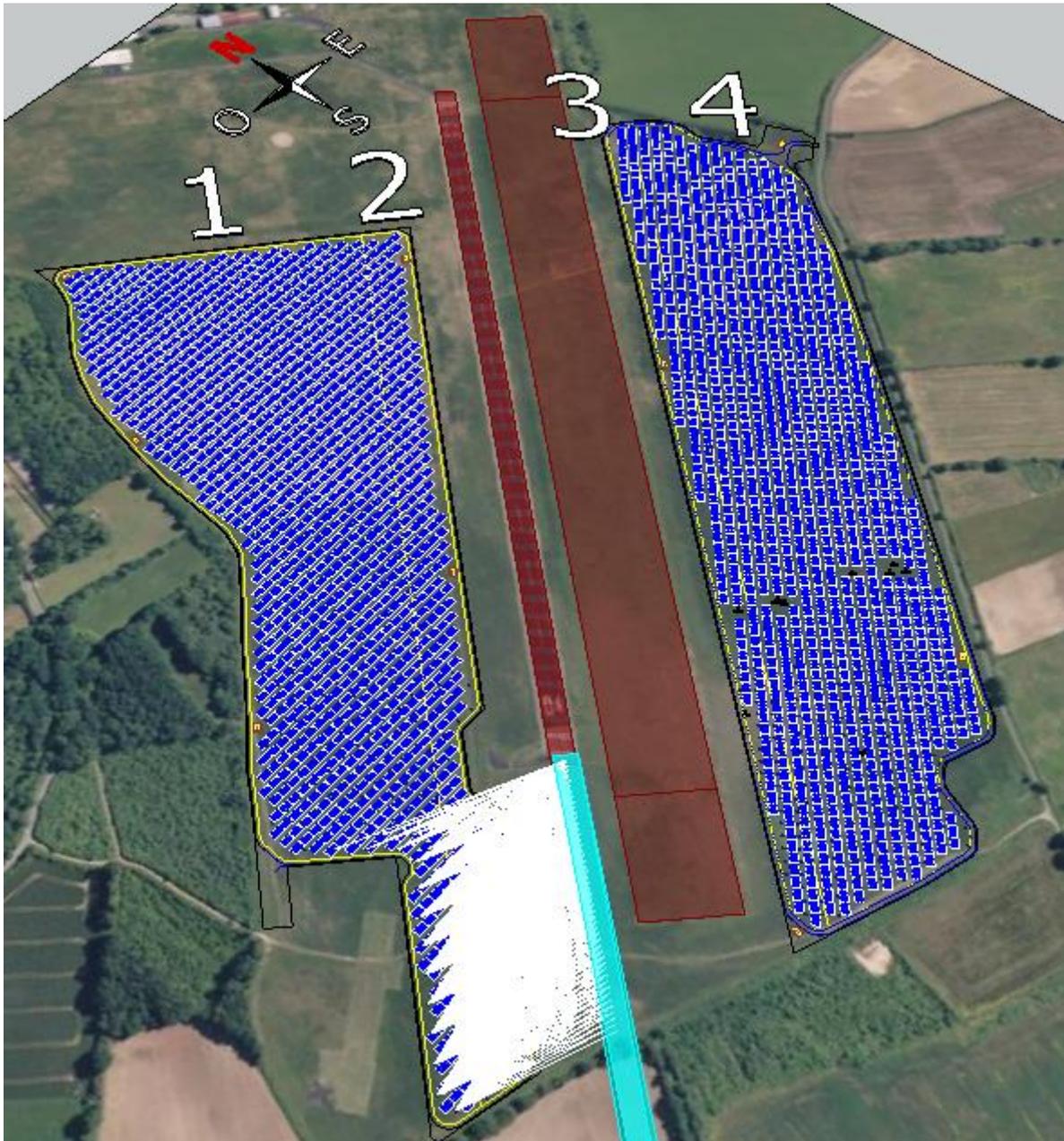


Figure 22 : Rayons réfléchis - Piste Revêtue 04-22 : Sud-Ouest - Secteur n°1
Angle d'interception : $> 90^\circ$ (□), $\leq 90^\circ$ (■)

• Approche Nord-Est (QFU : 221°)

Les modules du secteur n°1 se situent en zone élargie pour l'approche Nord-Est de la piste Revêtue 04-22.

La surface des modules du secteur n°1 est de 133 000 m². Elle est supérieure à la limite de 500 m² définie par la DGAC dans le cas présent. La vérification de l'absence de gêne est donc nécessaire.

La figure ci-dessous montre que les rayons réfléchis par les modules du secteur n°1 interceptent les aéronefs pour l'approche Nord-Est de la piste Revêtue 04-22.

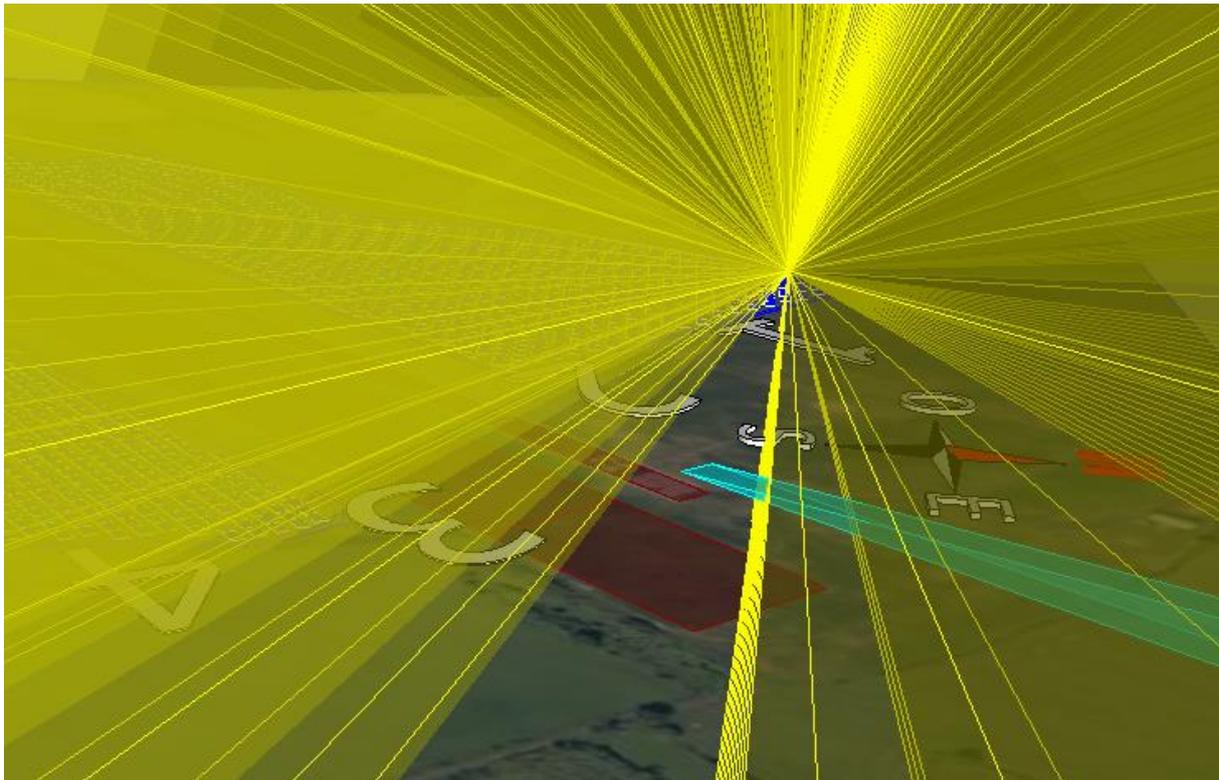


Figure 23 : Rayons réfléchis - Piste Revêtue 04-22 : Nord-Est - Secteur n°1

Comme décrit au § III, les angles minimums admissibles entre les rayons réfléchis et l'axe du regard du pilote sont ceux qui figurent dans la NIT v4. Ces angles sont associés à 3 zones A, B et C définies dans le même document⁶.

La figure suivante représente les zones A, B et C pour l'approche.

⁶ A l'exception de la zone C pour laquelle un angle de 90° est retenu, comme indiqué au § III.1.

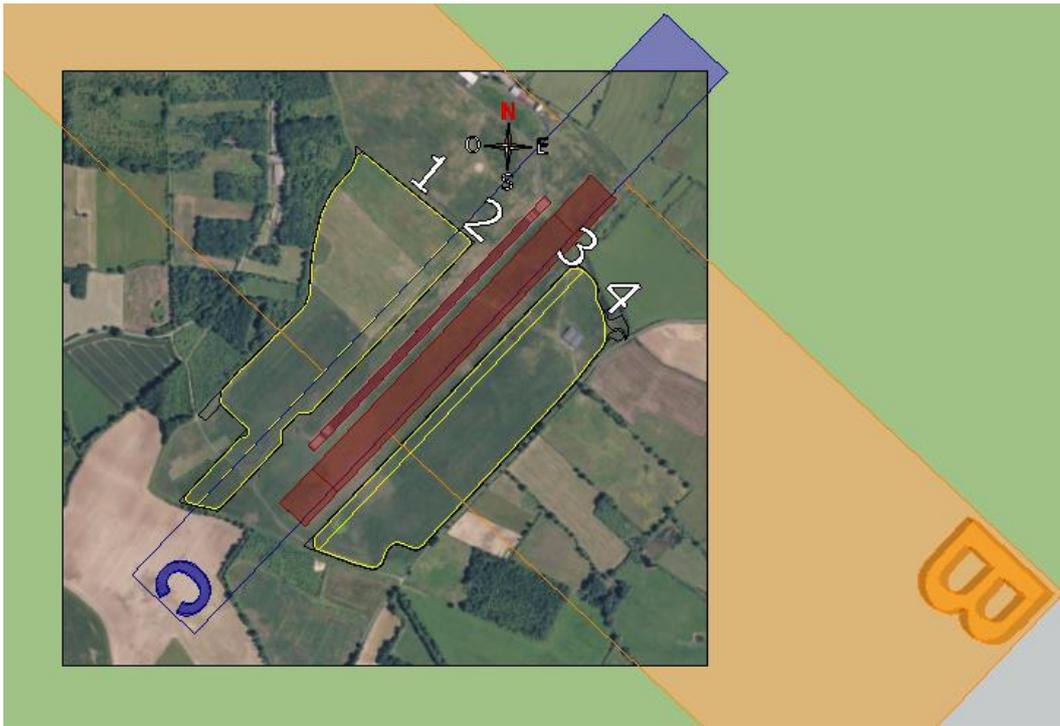


Figure 24 : Repérage des Zones A (■), B (■) et C (■) – Piste Revêtue 04-22 : Nord-Est

Un calcul détaillé, réalisé pour tous les jours de l'année, montre que les rayons réfléchis interceptant les aéronefs n'induisent pas d'éblouissement d'incapacité pour les pilotes dans cette approche.

Les figures et le tableau ci-dessous exposent les résultats de ces calculs.

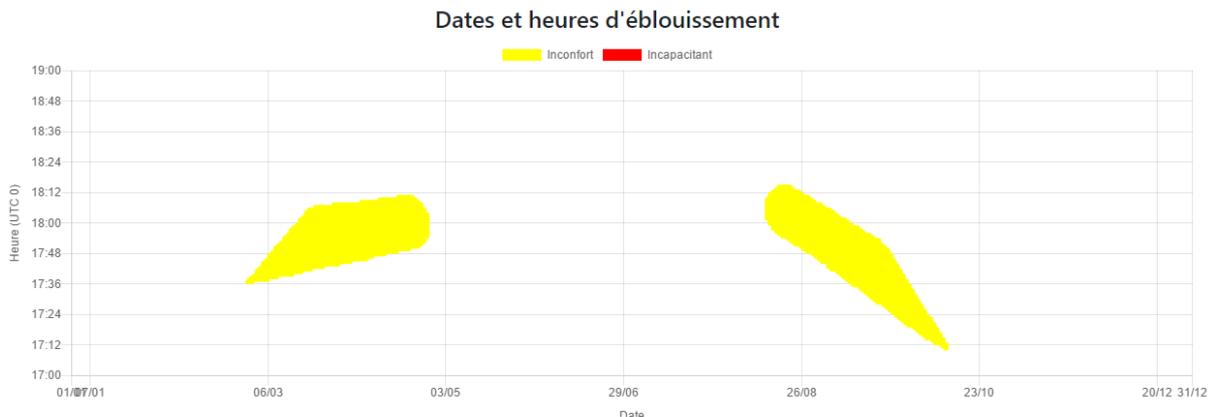


Figure 25 : Dates et heures d'éblouissement - Piste Revêtue 04-22 : Nord-Est - Secteur n°1

Les éblouissements d'inconfort sont observés entre 17h11 et 18h14.

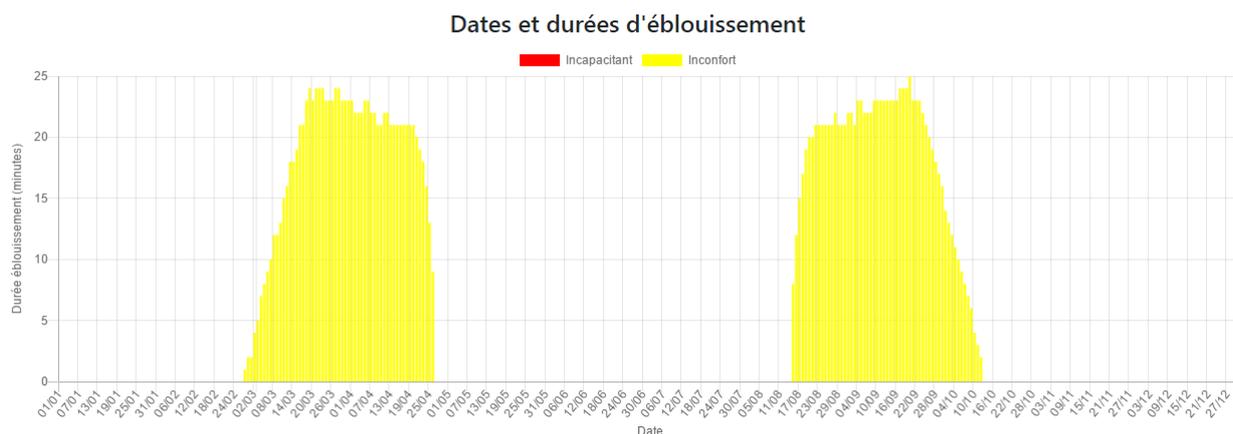


Figure 26 : Dates et durées journalières d'éblouissement - Piste Revêtue 04-22 : Nord-Est - Secteur n°1

Durée éblouissement (minutes)		Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Année
Cumul	Inconfort	0	3	538	528	0	0	0	322	660	99	0	0	2150
	Incapacitant	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	0	3	538	528	0	0	0	322	660	99	0	0	2150
Moyenne journalière	Inconfort	0	1	17	20	0	0	0	18	22	8	0	0	18
	Incapacitant	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	0	1	17	20	0	0	0	18	22	8	0	0	18

Tableau 4 : Durées (cumuls et moyennes) d'éblouissement (en minutes) - Piste Revêtue 04-22 : Nord-Est - Secteur n°1

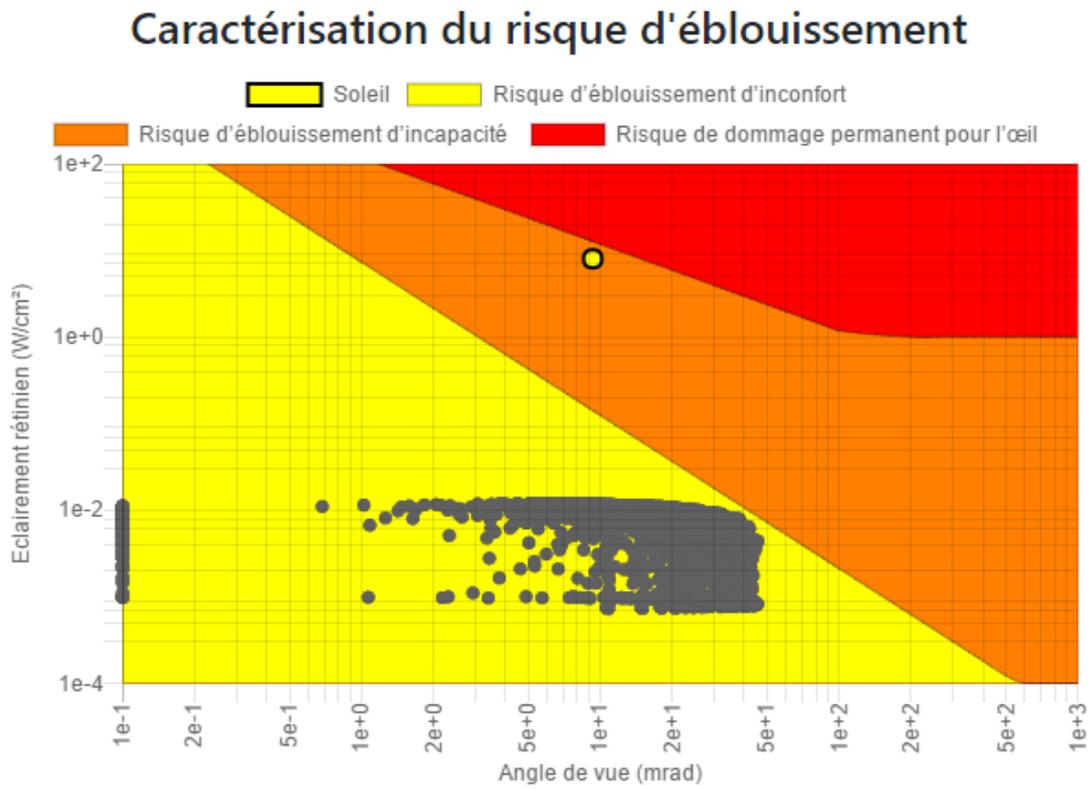


Figure 27 : Diagramme d'impact oculaire permettant de caractériser le risque d'éblouissement - Piste Revêtue 04-22 : Nord-Est - Secteur n°1

IV.1.3. Conclusion - Secteur n°1

Le secteur n°1 ne présente donc pas de risque d'éblouissement d'incapacité.

IV.2. Secteur n°2

IV.2.1. Piste NON revêtue 04R-22L

• Approche Sud-Ouest (QFU : 41°)

Les modules du secteur n°2 se situent en zone élargie pour l'approche Sud-Ouest de la piste NON revêtue 04R-22L.

La surface des modules du secteur n°2 est de 35000 m². Elle est supérieure à la limite de 500 m² définie par la DGAC dans le cas présent. La vérification de l'absence de gêne est donc nécessaire.

La figure ci-dessous montre que les rayons réfléchis par les modules du secteur n°2 interceptent les aéronefs pour l'approche Sud-Ouest de la piste NON revêtue 04R-22L.

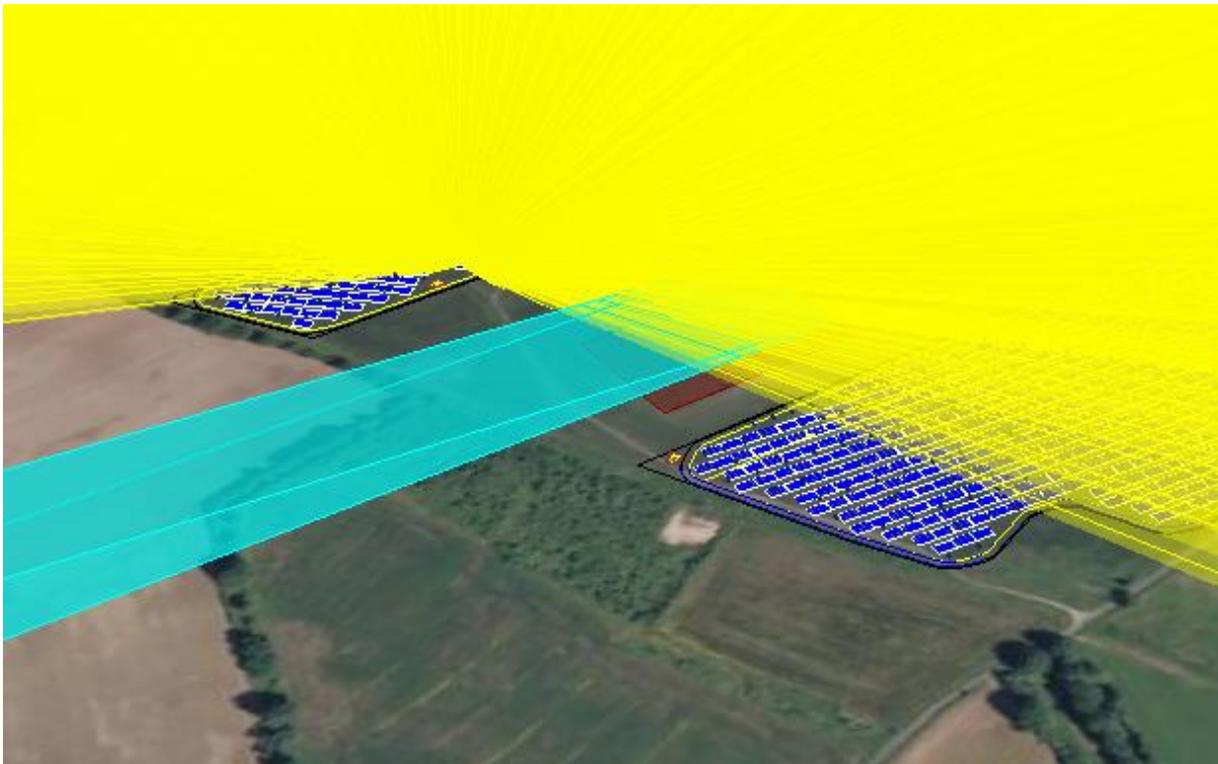


Figure 28 : Rayons réfléchis - Piste NON revêtue 04R-22L : Sud-Ouest - Secteur n°2

Comme décrit au § III, les angles minimums admissibles entre les rayons réfléchis et l'axe du regard du pilote sont ceux qui figurent dans la NIT v4. Ces angles sont associés à 3 zones A, B et C définies dans le même document⁷.

La Figure 12 représente les zones A, B et C pour l'approche.

Un calcul détaillé réalisé pour tous les jours de l'année, montre l'absence d'interception sous un angle inférieur ou égal à 90°. Sur la figure ci-dessous, les rayons en blancs correspondent aux rayons réfléchis par le module et interceptés avec un angle supérieur à 90° (et les rayons rouges correspondent aux rayons réfléchis par le module et interceptés avec un angle inférieur à 90°).

Dans le présent cas, l'angle minimal d'interception calculé est de 108°. Les angles d'interception sont donc supérieurs à 90° : il n'y a pas de risque d'éblouissement.

⁷ A l'exception de la zone C pour laquelle un angle de 90° est retenu, comme indiqué au § III.1.

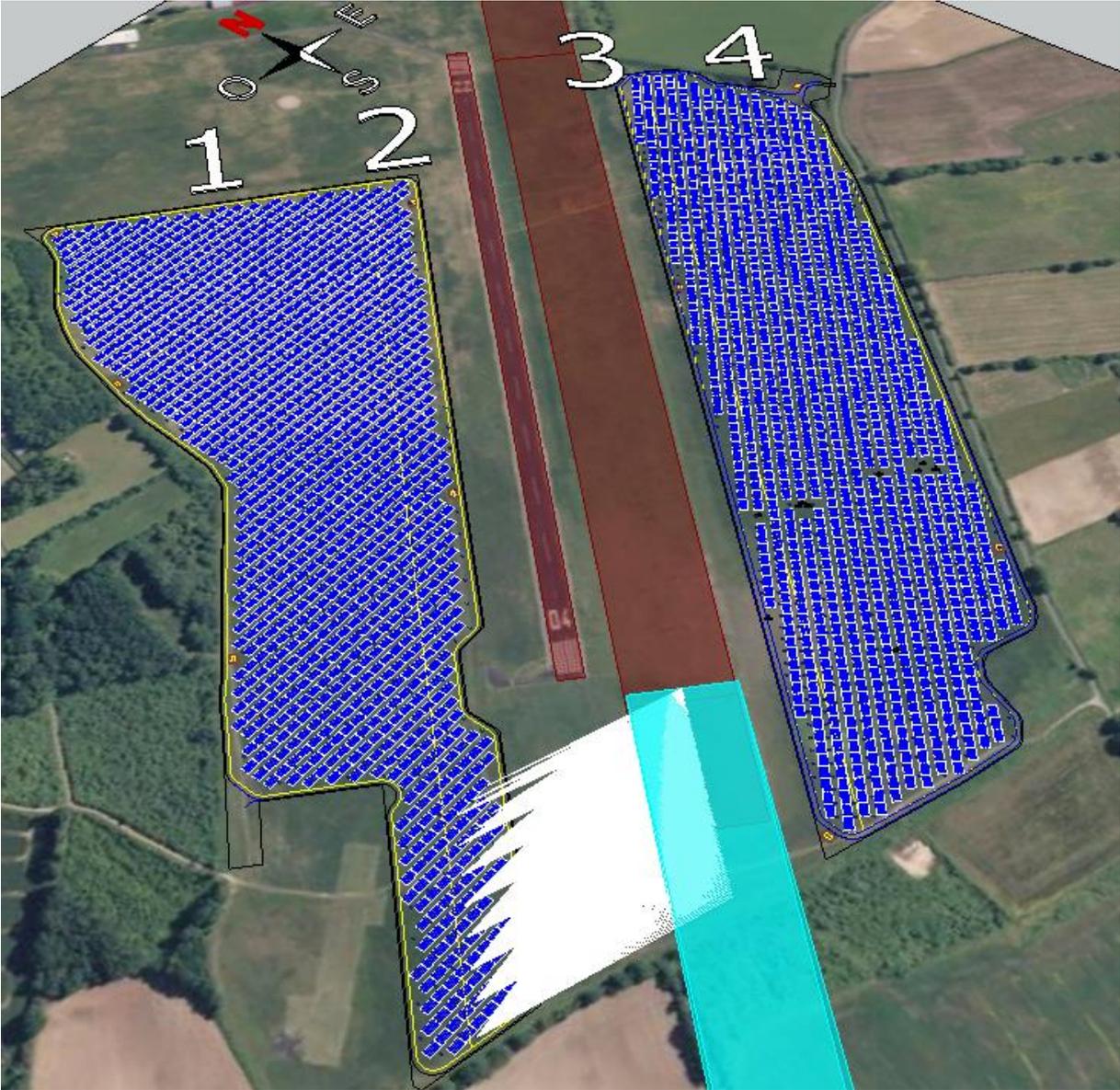


Figure 29 : Rayons réfléchis - Piste NON revêtue 04R-22L : Sud-Ouest - Secteur n°2
Angle d'interception : > 90° (□), ≤ 90° (■)

• Approche Nord-Est (QFU : 221°)

Les modules du secteur n°2 se situent en zone élargie pour l'approche Nord-Est de la piste NON revêtue 04R-22L.

La surface des modules du secteur n°2 est de 35 000 m². Elle est supérieure à la limite de 500 m² définie par la DGAC dans le cas présent. La vérification de l'absence de gêne est donc nécessaire.

La figure ci-dessous montre que les rayons réfléchis par les modules du secteur n°2 interceptent les avions pour l'approche Nord-Est de la piste NON revêtue 04R-22L

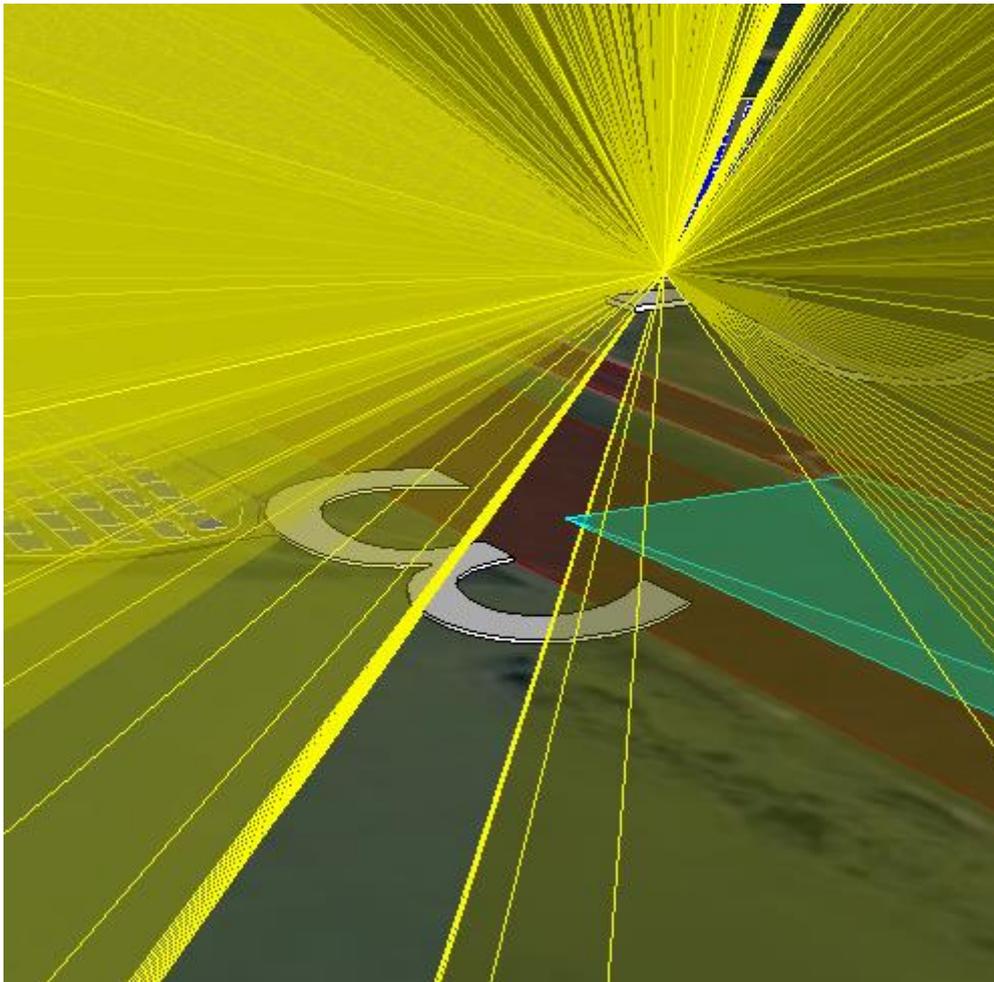


Figure 30 : Rayons réfléchis - Piste NON revêtue 04R-22L : Nord-Est - Secteur n°2

Comme décrit au § III, les angles minimums admissibles entre les rayons réfléchis et l'axe du regard du pilote sont ceux qui figurent dans la NIT v4. Ces angles sont associés à 3 zones A, B et C définies dans le même document⁸.

La Figure 15 représente les zones A, B et C pour l'approche.

Un calcul détaillé, réalisé pour tous les jours de l'année, montre que les rayons réfléchis interceptant les avions n'induisent pas d'éblouissement d'incapacité pour les pilotes dans cette approche.

Les figures et le tableau ci-dessous exposent les résultats de ces calculs.

⁸ A l'exception de la zone C pour laquelle un angle de 90° est retenu, comme indiqué au § III.1.

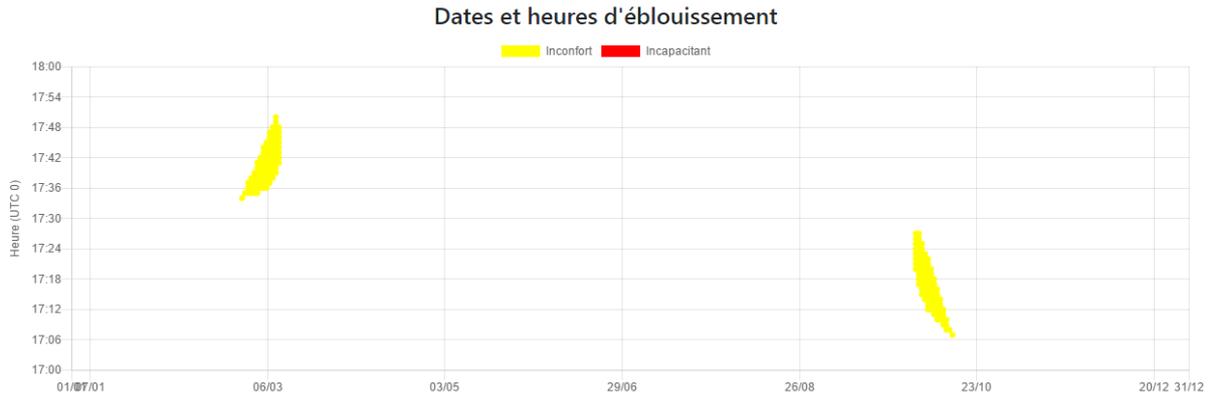


Figure 31 : Dates et heures d'éblouissement - Piste NON revêtue 04R-22L : Nord-Est - Secteur n°2

Les éblouissements d'inconfort sont observés entre 17h07 et 17h49.

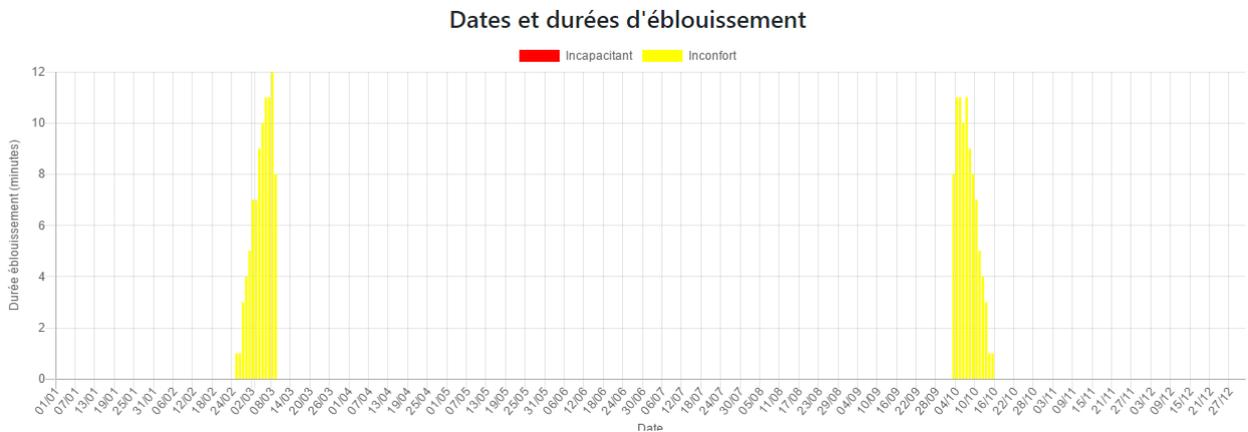


Figure 32 : Dates et durées journalières d'éblouissement - Piste NON revêtue 04R-22L : Nord-Est - Secteur n°2

Durée éblouissement (minutes)		Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Année
Cumul	Inconfort	0	9	80	0	0	0	0	0	0	89	0	0	178
	Incapacitant	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	0	9	80	0	0	0	0	0	0	89	0	0	178
Moyenne journalière	Inconfort	0	2	8	0	0	0	0	0	0	6	0	0	6
	Incapacitant	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	0	2	8	0	0	0	0	0	0	6	0	0	6

Tableau 5 : Durées (cumuls et moyennes) d'éblouissement (en minutes) - Piste NON revêtue 04R-22L : Nord-Est - Secteur n°2

Caractérisation du risque d'éblouissement

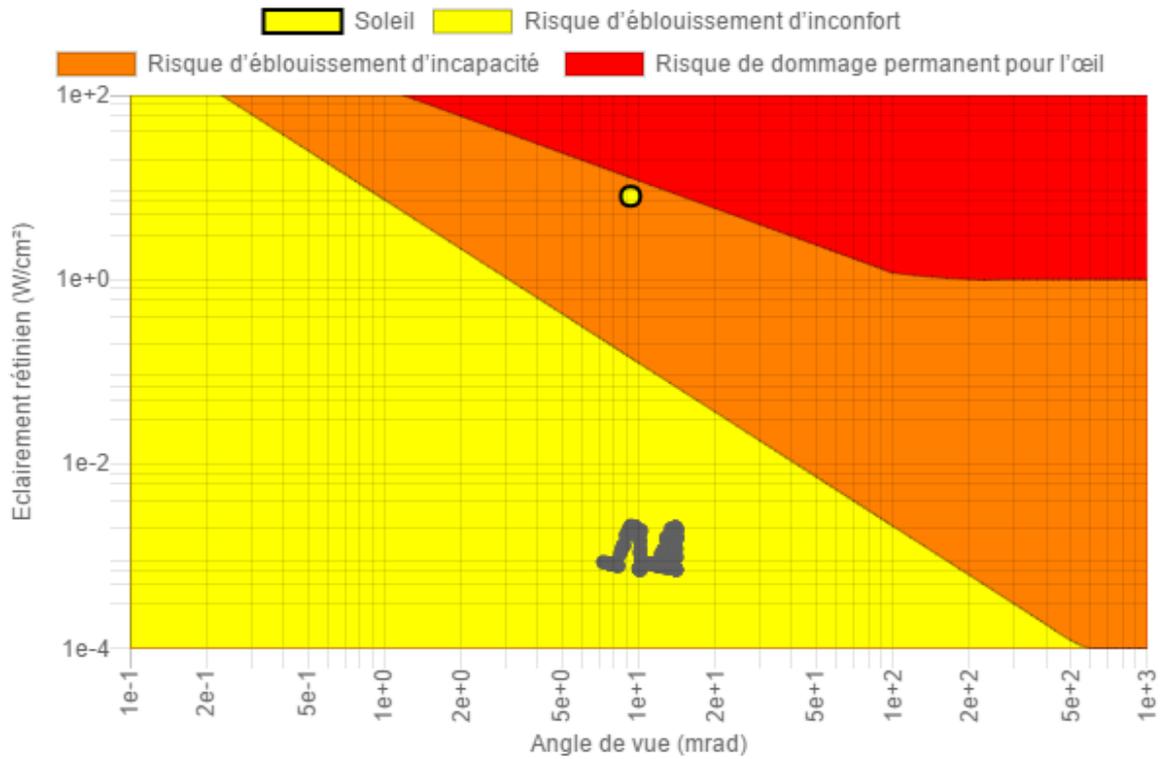


Figure 33 : Diagramme d'impact oculaire permettant de caractériser le risque d'éblouissement - Piste NON revêtue 04R-22L : Nord-Est - Secteur n°2

IV.2.2. Piste Revêtue 04-22

• Approche Sud-Ouest (QFU : 41°)

Les modules du secteur n°2 se situent en zone restreinte pour l'approche Sud-Ouest de la piste Revêtue 04-22.

La surface des modules du secteur n°2 est de 35 000 m². Elle est supérieure à la limite de 500 m² définie par la DGAC dans le cas présent. La vérification de l'absence de gêne est donc nécessaire.

La figure ci-dessous montre que les rayons réfléchis par les modules du secteur n°2 interceptent les aéronefs pour l'approche Sud-Ouest de la piste Revêtue 04-22

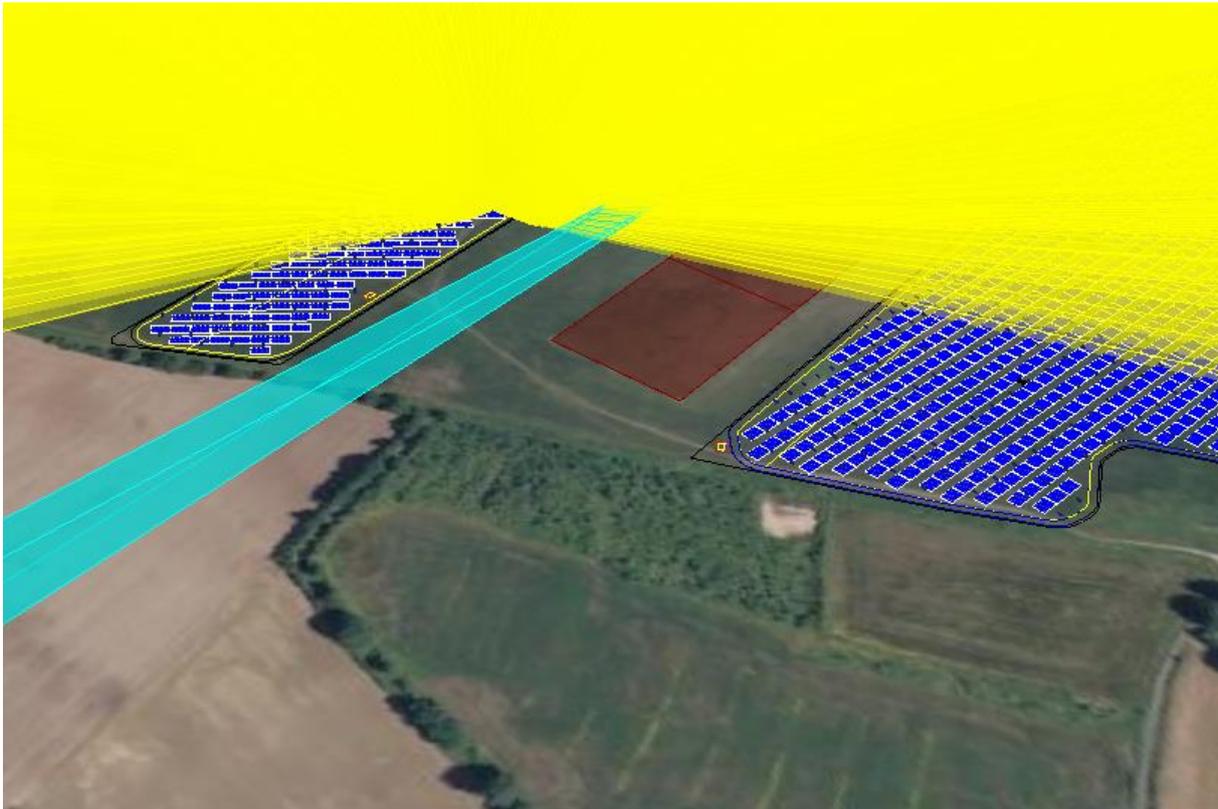


Figure 34 : Rayons réfléchis - Piste Revêtue 04-22 : Sud-Ouest - Secteur n°2

Comme décrit au § III, les angles minimums admissibles entre les rayons réfléchis et l'axe du regard du pilote sont ceux qui figurent dans la NIT v4. Ces angles sont associés à 3 zones A, B et C définies dans le même document⁹.

La Figure 21 représente les zones A, B et C pour l'approche.

Un calcul détaillé réalisé pour tous les jours de l'année, montre l'absence d'interception sous un angle inférieur ou égal à 90°. Sur la figure ci-dessous, les rayons en blancs correspondent aux rayons réfléchis par le module et interceptés avec un angle supérieur à 90° (et les rayons rouges correspondent aux rayons réfléchis par le module et interceptés avec un angle inférieur à 90°).

Dans le présent cas, l'angle minimal d'interception calculé est de 108°. Les angles d'interception sont donc supérieurs à 90° : il n'y a pas de risque d'éblouissement.

⁹ A l'exception de la zone C pour laquelle un angle de 90° est retenu, comme indiqué au § III.1.

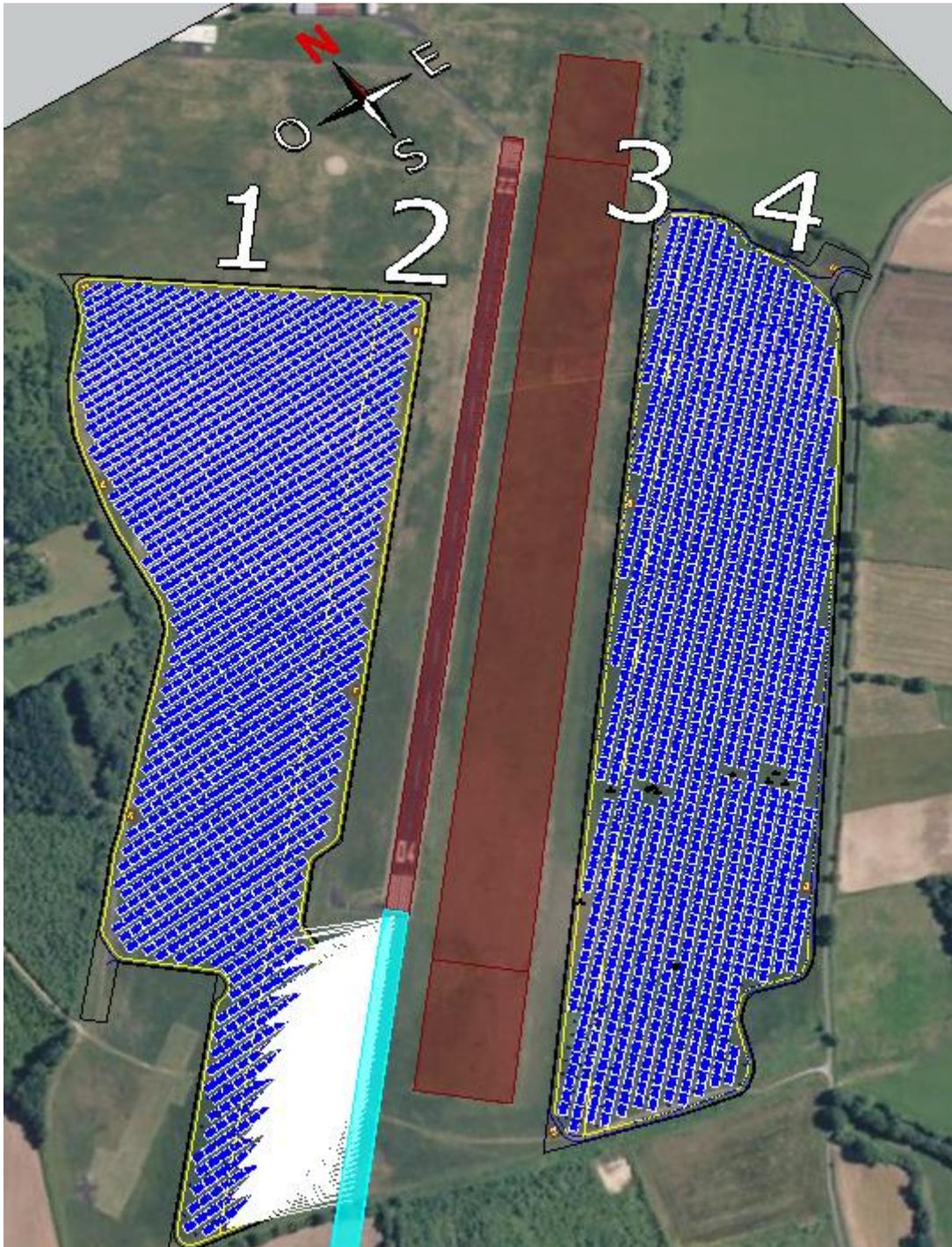


Figure 35 : Rayons réfléchis - Piste Revêtue 04-22 : Sud-Ouest - Secteur n°2
Angle d'interception : $> 90^\circ$ (□), $\leq 90^\circ$ (■)

• Approche Nord-Est (QFU : 221°)

Les modules du secteur n°2 se situent en zone restreinte pour l'approche Nord-Est de la piste Revêtue 04-22.

La figure ci-dessous montre que les rayons réfléchis par les modules du secteur n°2 n'interceptent pas la trajectoire Nord-Est de la piste Revêtue 04-22.

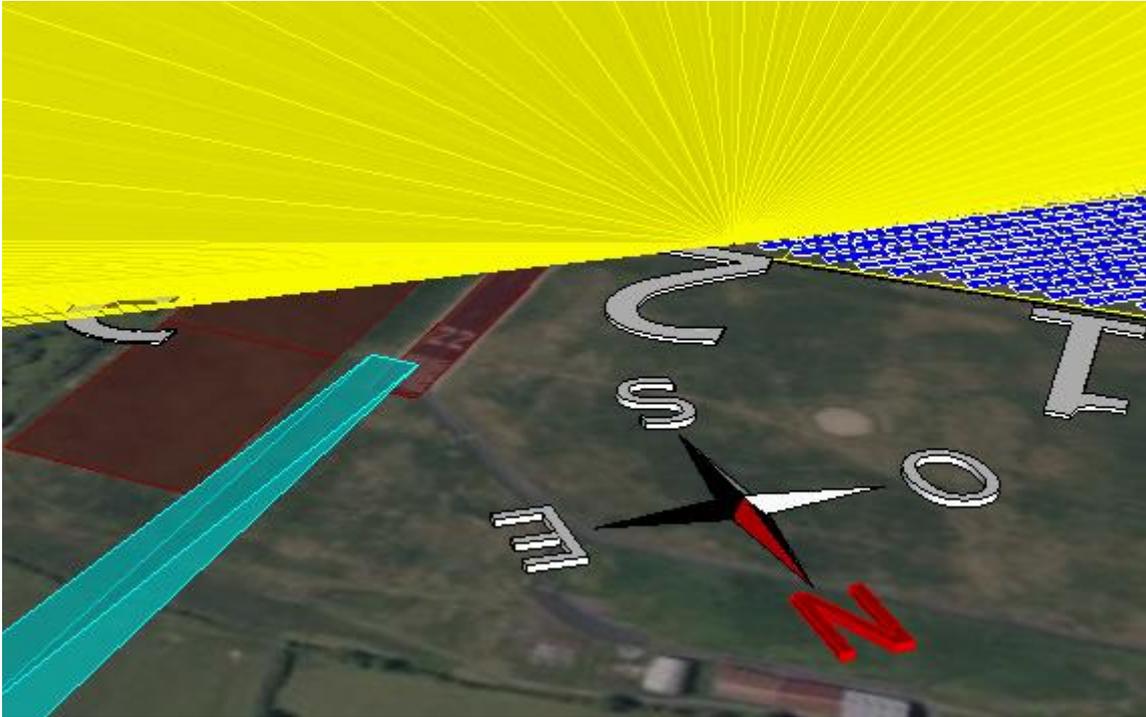


Figure 36 : Rayons réfléchis - Piste Revêtue 04-22 : Nord-Est - Secteur n°2

[IV.2.3. Conclusion - Secteur n°2](#)

Le secteur n°2 ne présente donc pas de risque d'éblouissement d'incapacité.

IV.3. Secteur n°3

IV.3.1. Piste NON revêtue 04R-22L

- Approche Sud-Ouest (QFU : 41°)

Les modules du secteur n°3 se situent en zone restreinte pour l'approche Sud-Ouest de la piste NON revêtue 04R-22L.

La surface des modules du secteur n°3 est de 22 000 m². Elle est supérieure à la limite de 500 m² définie par la DGAC dans le cas présent. La vérification de l'absence de gêne est donc nécessaire.

La figure ci-dessous montre que les rayons réfléchis par les modules du secteur n°3 interceptent les aéronefs pour l'approche Sud-Ouest de la piste NON revêtue 04R-22L.

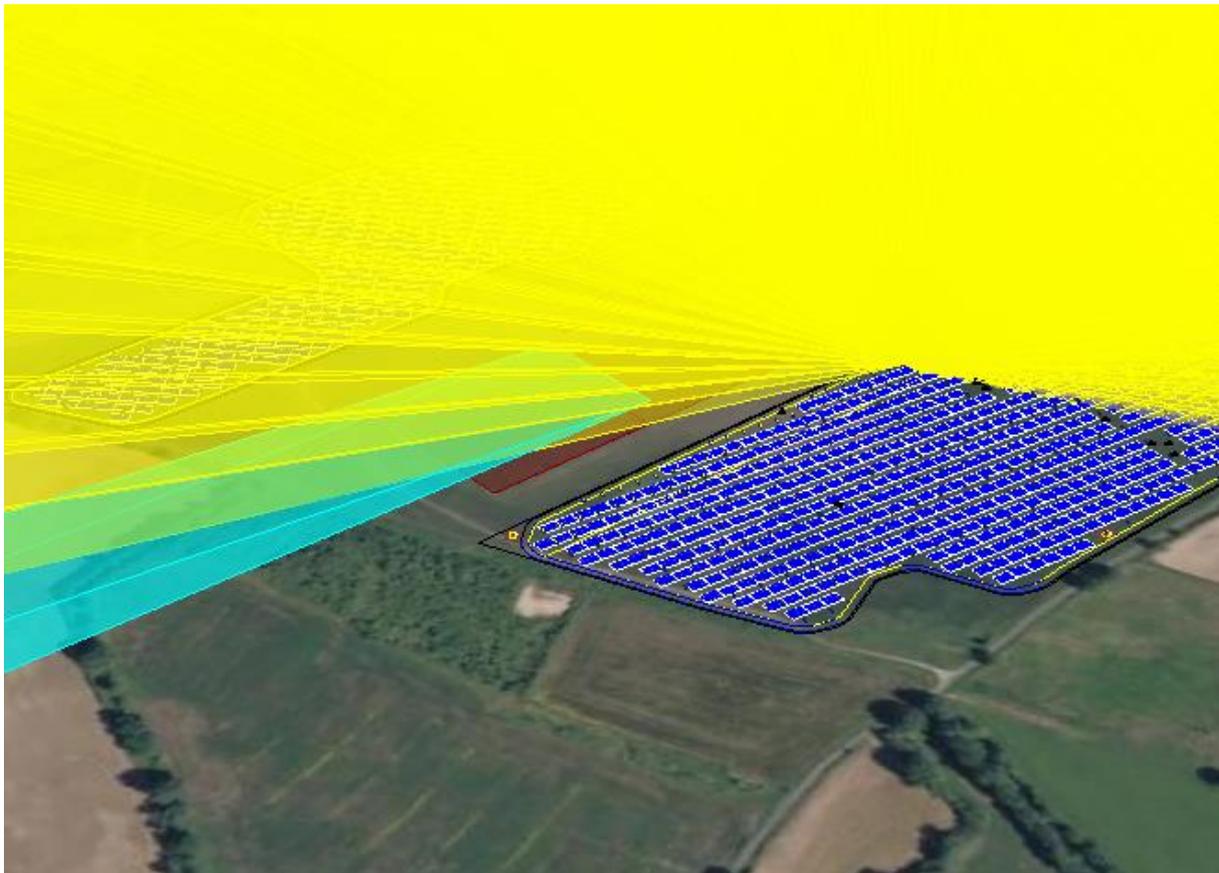


Figure 37 : Rayons réfléchis - Piste NON revêtue 04R-22L : Sud-Ouest - Secteur n°3

Comme décrit au § III, les angles minimums admissibles entre les rayons réfléchis et l'axe du regard du pilote sont ceux qui figurent dans la NIT v4. Ces angles sont associés à 3 zones A, B et C définies dans le même document¹⁰.

La Figure 12 représente les zones A, B et C pour l'approche.

Un calcul détaillé, réalisé pour tous les jours de l'année, montre que les rayons réfléchis interceptant les aéronefs n'induisent pas d'éblouissement d'incapacité pour les pilotes dans cette approche.

Les figures et le tableau ci-dessous exposent les résultats de ces calculs.

¹⁰ A l'exception de la zone C pour laquelle un angle de 90° est retenu, comme indiqué au § III.1.

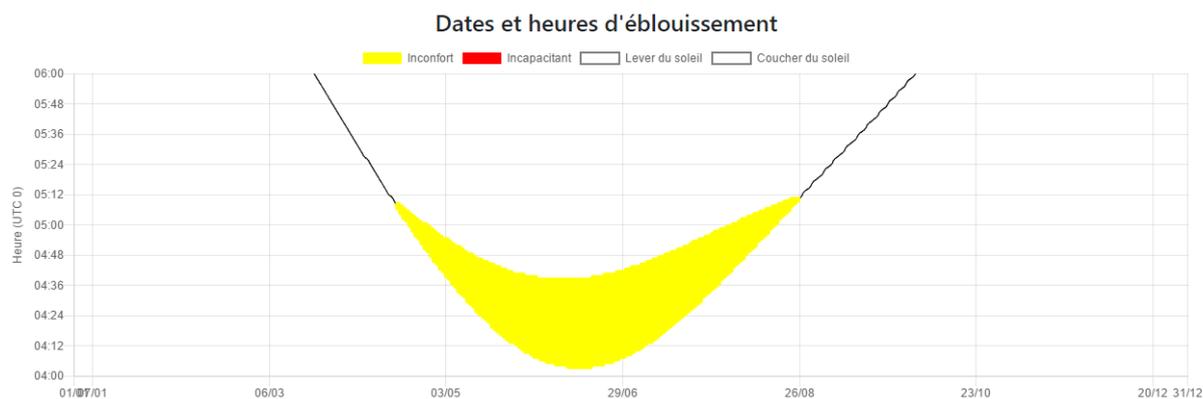


Figure 38 : Dates et heures d'éblouissement - Piste NON revêtue 04R-22L : Sud-Ouest - Secteur n°3

Les éblouissements d'inconfort sont observés entre 04h03 et 05h10.

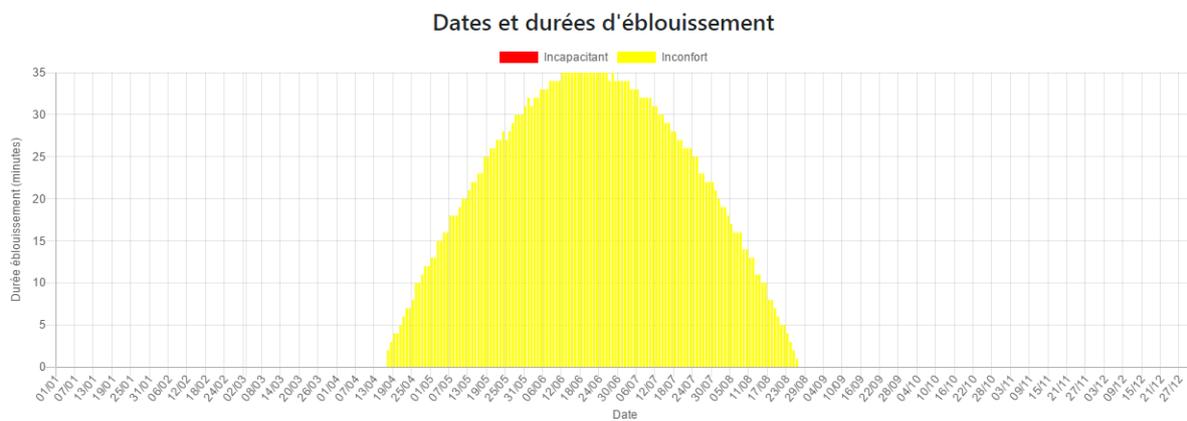


Figure 39 : Dates et durées journalières d'éblouissement - Piste NON revêtue 04R-22L : Sud-Ouest - Secteur n°3

Durée éblouissement (minutes)		Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Année
Cumul	Inconfort	0	0	0	101	701	1024	880	286	0	0	0	0	2992
	Incapacitant	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	0	0	0	101	701	1024	880	286	0	0	0	0	2992
Moyenne journalière	Inconfort	0	0	0	7	22	34	28	11	0	0	0	0	22
	Incapacitant	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	0	0	0	7	22	34	28	11	0	0	0	0	22

Tableau 6 : Durées (cumuls et moyennes) d'éblouissement (en minutes) - Piste NON revêtue 04R-22L : Sud-Ouest - Secteur n°3

Caractérisation du risque d'éblouissement

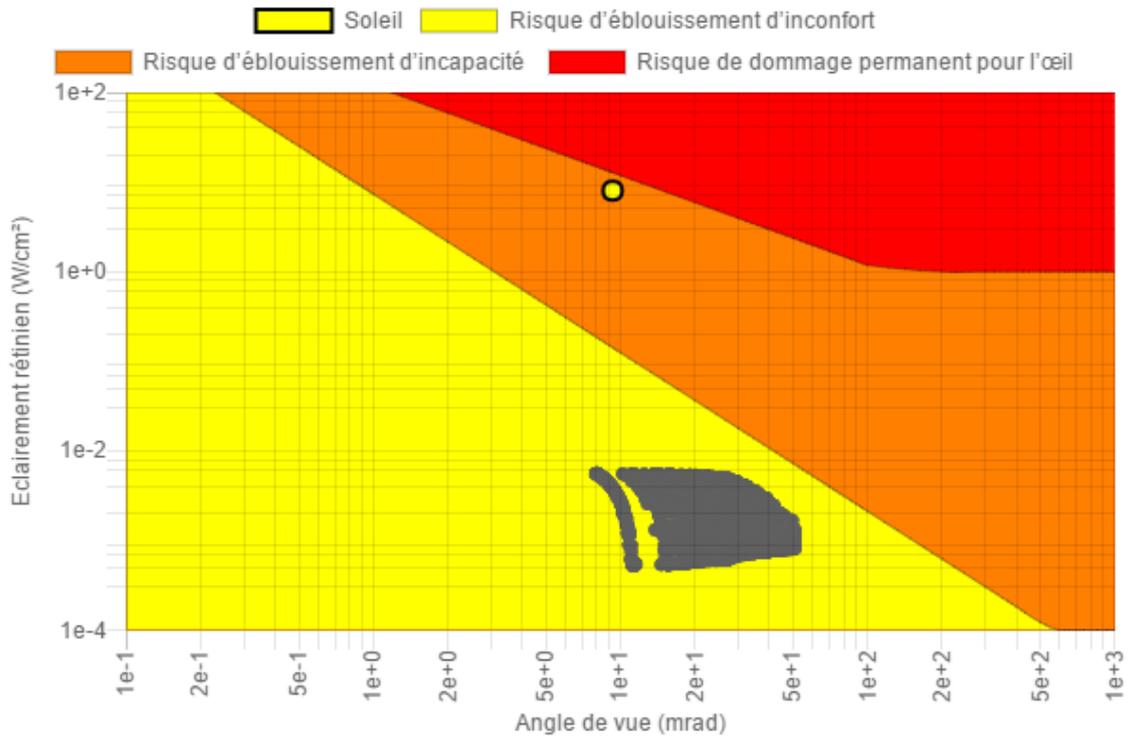


Figure 40 : Diagramme d'impact oculaire permettant de caractériser le risque d'éblouissement - Piste NON revêtue 04R-22L : Sud-Ouest - Secteur n°3

• Approche Nord-Est (QFU : 221°)

Les modules du secteur n°3 se situent en zone restreinte pour l'approche Nord-Est de la piste NON revêtue 04R-22L.

La figure ci-dessous montre que les rayons réfléchis par les modules du secteur n°3 n'interceptent pas la trajectoire Nord-Est de la piste NON revêtue 04R-22L.

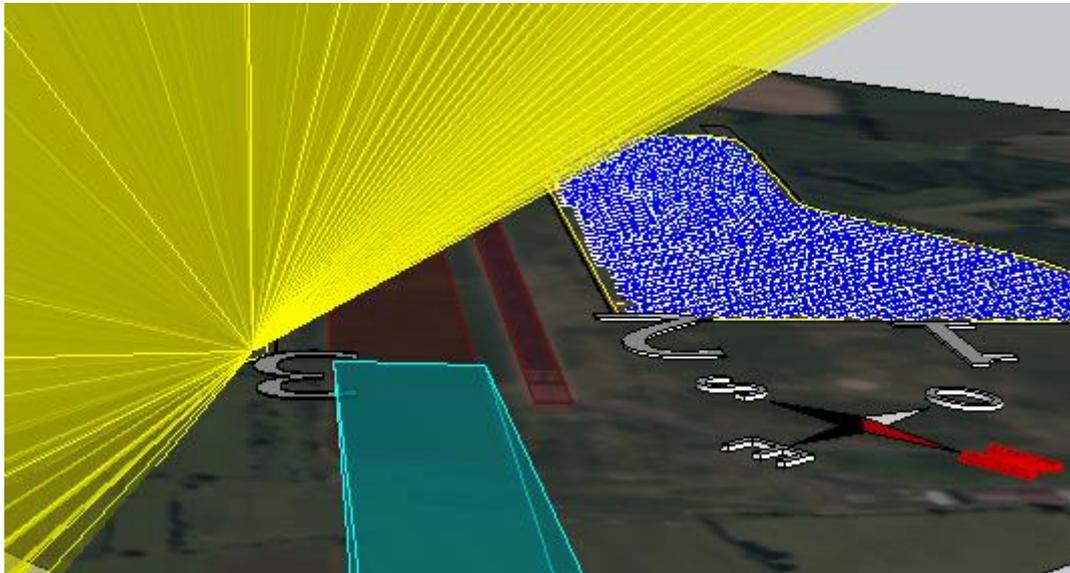


Figure 41 : Rayons réfléchis - Piste NON revêtue 04R-22L : Nord-Est - Secteur n°3

IV.3.2. Piste Revêtue 04-22

• Approche Sud-Ouest (QFU : 41°)

Les modules du secteur n°3 se situent en zone élargie pour l'approche Sud-Ouest de la piste Revêtue 04-22.

La surface des modules du secteur n°3 est de 22000 m². Elle est supérieure à la limite de 500 m² définie par la DGAC dans le cas présent. La vérification de l'absence de gêne est donc nécessaire.

La figure ci-dessous montre que les rayons réfléchis par les modules du secteur n°3 interceptent les aéronefs pour l'approche Sud-Ouest de la piste Revêtue 04-22

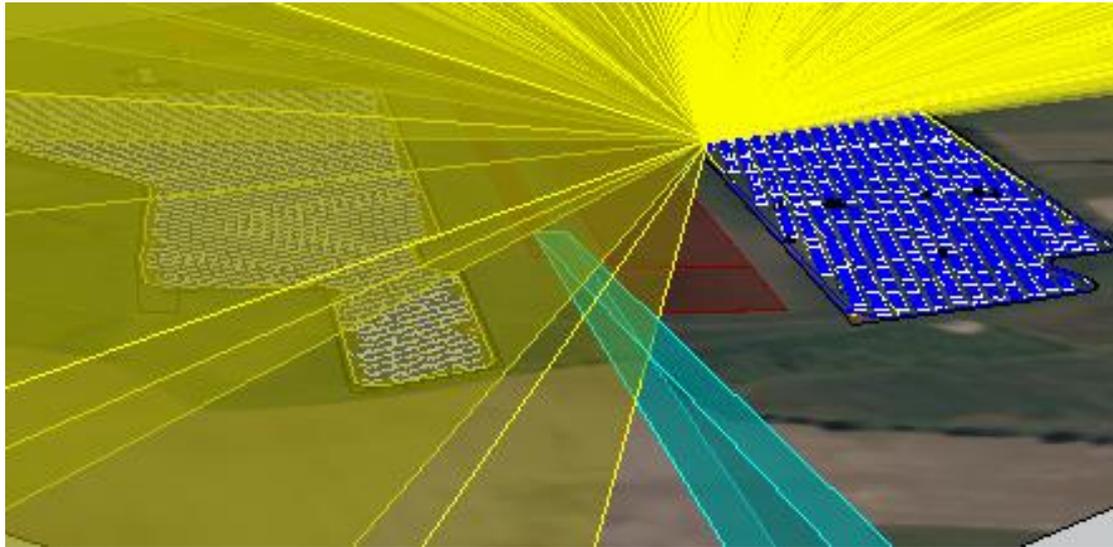


Figure 42 : Rayons réfléchis - Piste Revêtue 04-22 : Sud-Ouest - Secteur n°3

Comme décrit au § III, les angles minimums admissibles entre les rayons réfléchis et l'axe du regard du pilote sont ceux qui figurent dans la NIT v4. Ces angles sont associés à 3 zones A, B et C définies dans le même document¹¹.

La Figure 21 représente les zones A, B et C pour l'approche.

Un calcul détaillé, réalisé pour tous les jours de l'année, montre que les rayons réfléchis interceptant les aéronefs n'induisent pas d'éblouissement d'incapacité pour les pilotes dans cette approche.

Les figures et le tableau ci-dessous exposent les résultats de ces calculs.

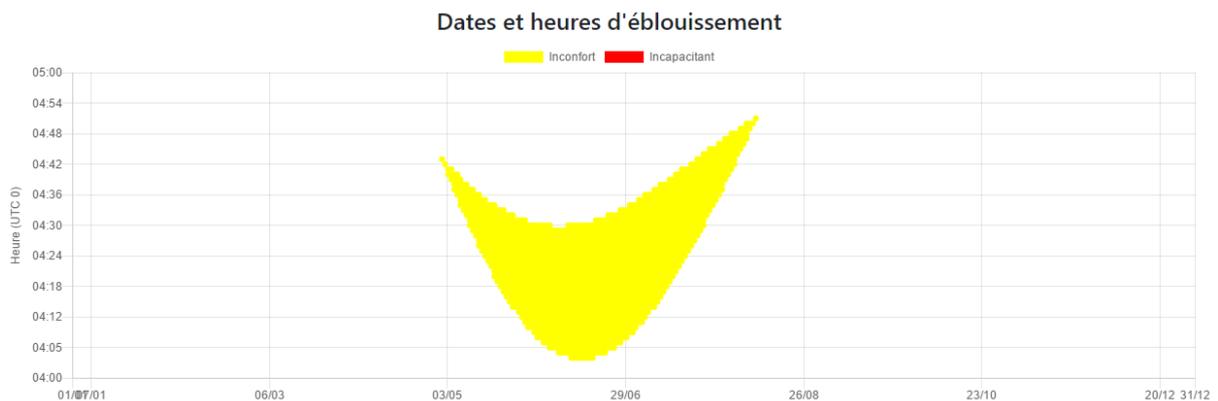


Figure 43 : Dates et heures d'éblouissement - Piste Revêtue 04-22 : Sud-Ouest - Secteur n°3

¹¹ A l'exception de la zone C pour laquelle un angle de 90° est retenu, comme indiqué au § III.1.

Les éblouissements d'inconfort sont observés entre 04h03 et 04h50.

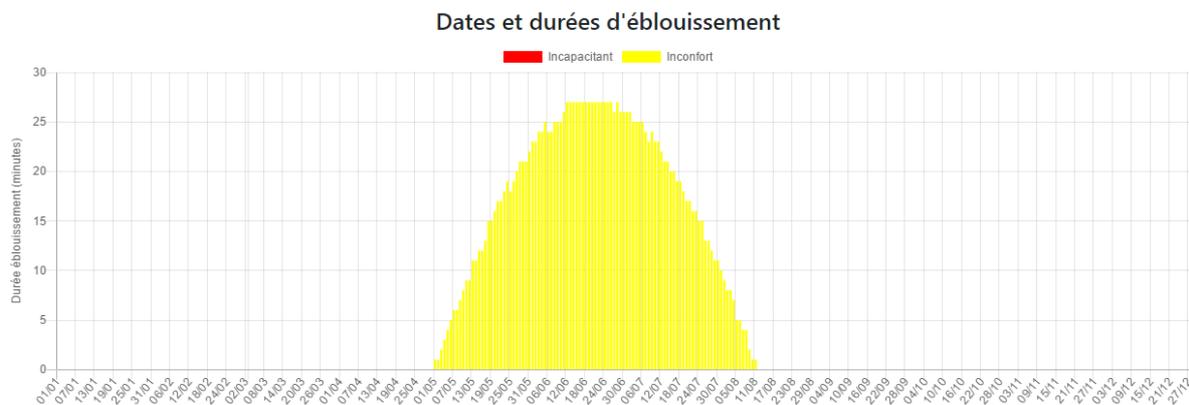


Figure 44 : Dates et durées journalières d'éblouissement - Piste Revêtue 04-22 : Sud-Ouest - Secteur n°3

Durée éblouissement (minutes)		Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Année
Cumul	Inconfort	0	0	0	0	379	778	595	54	0	0	0	0	1806
	Incapacitant	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	0	0	0	0	379	778	595	54	0	0	0	0	1806
Moyenne journalière	Inconfort	0	0	0	0	12	25	19	4	0	0	0	0	17
	Incapacitant	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	0	0	0	0	12	25	19	4	0	0	0	0	17

Tableau 7 : Durées (cumuls et moyennes) d'éblouissement (en minutes) - Piste Revêtue 04-22 : Sud-Ouest - Secteur n°3

Caractérisation du risque d'éblouissement

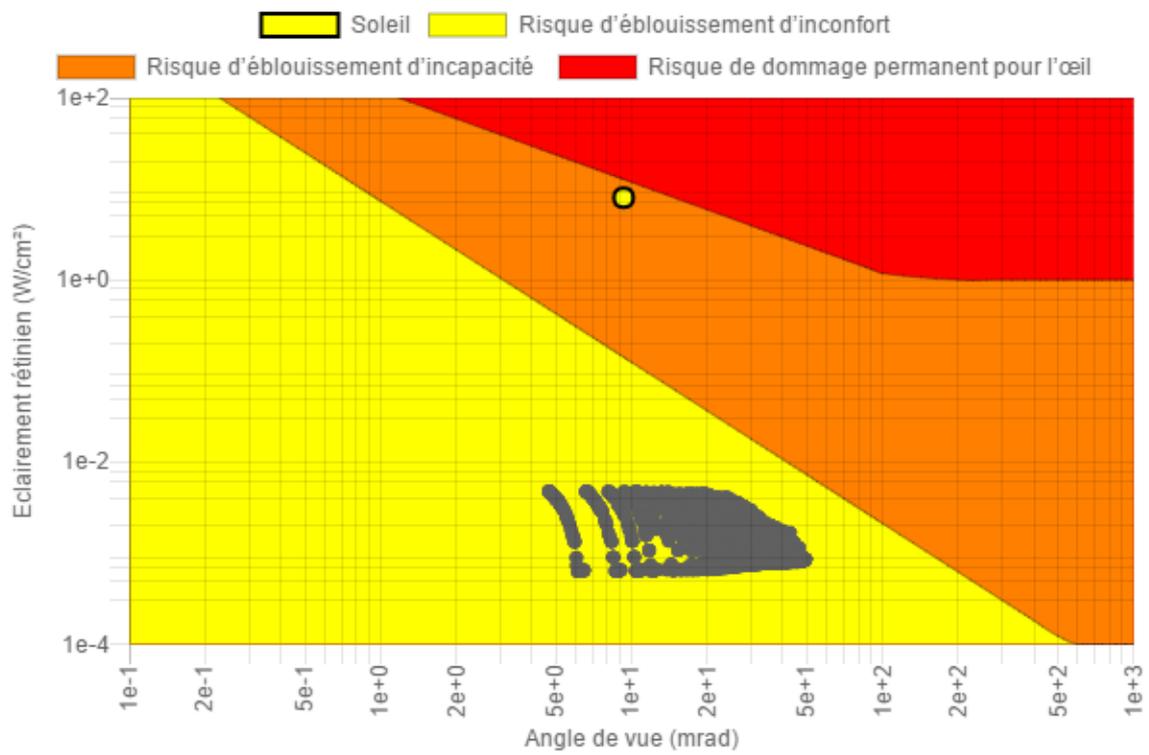


Figure 45 : Diagramme d'impact oculaire permettant de caractériser le risque d'éblouissement - Piste Revêtue 04-22 : Sud-Ouest - Secteur n°3

• Approche Nord-Est (QFU : 221°)

Les modules du secteur n°3 se situent en zone élargie pour l'approche Nord-Est de la piste Revêtue 04-22.

La figure ci-dessous montre que les rayons réfléchis par les modules du secteur n°3 n'interceptent pas la trajectoire Nord-Est de la piste Revêtue 04-22

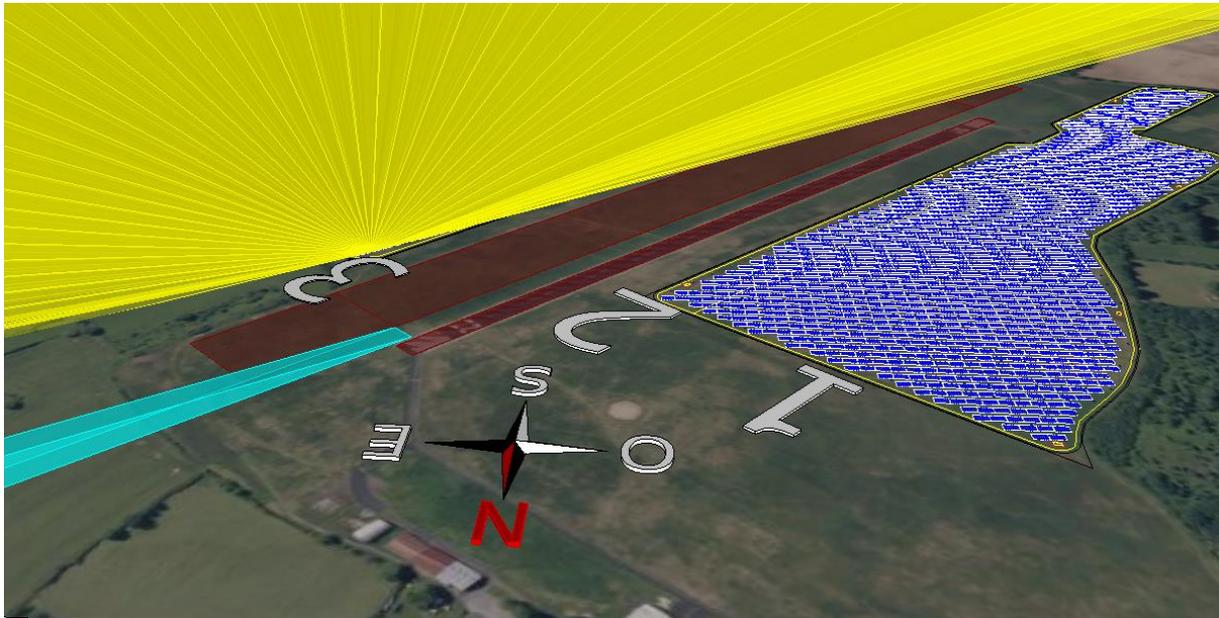


Figure 46 : Rayons réfléchis - Piste Revêtue 04-22 : Nord-Est - Secteur n°3

[IV.3.3. Conclusion - Secteur n°3](#)

Le secteur n°3 ne présente donc pas de risque d'éblouissement d'incapacité.

IV.4. Secteur n°4

IV.4.1. Piste NON revêtue 04R-22L

- Approche Sud-Ouest (QFU : 41°)

Les modules du secteur n°4 se situent en zone élargie pour l'approche Sud-Ouest de la piste NON revêtue 04R-22L.

La surface des modules du secteur n°4 est de 130 000 m². Elle est supérieure à la limite de 500 m² définie par la DGAC dans le cas présent. La vérification de l'absence de gêne est donc nécessaire.

La figure ci-dessous montre que les rayons réfléchis par les modules du secteur n°4 interceptent les avions pour l'approche Sud-Ouest de la piste NON revêtue 04R-22L

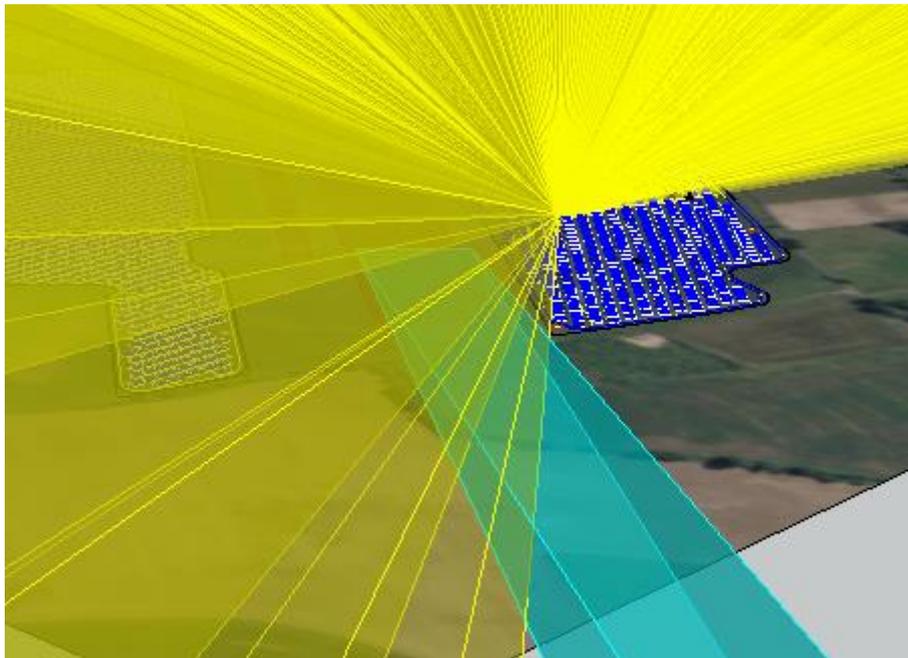


Figure 47 : Rayons réfléchis - Piste NON revêtue 04R-22L : Sud-Ouest - Secteur n°4

Comme décrit au § III, les angles minimums admissibles entre les rayons réfléchis et l'axe du regard du pilote sont ceux qui figurent dans la NIT v4. Ces angles sont associés à 3 zones A, B et C définies dans le même document¹².

La Figure 12 représente les zones A, B et C pour l'approche.

Un calcul détaillé, réalisé pour tous les jours de l'année, montre que les rayons réfléchis interceptant les avions n'induisent pas d'éblouissement d'incapacité pour les pilotes dans cette approche.

Les figures et le tableau ci-dessous exposent les résultats de ces calculs.

¹² A l'exception de la zone C pour laquelle un angle de 90° est retenu, comme indiqué au § III.1.

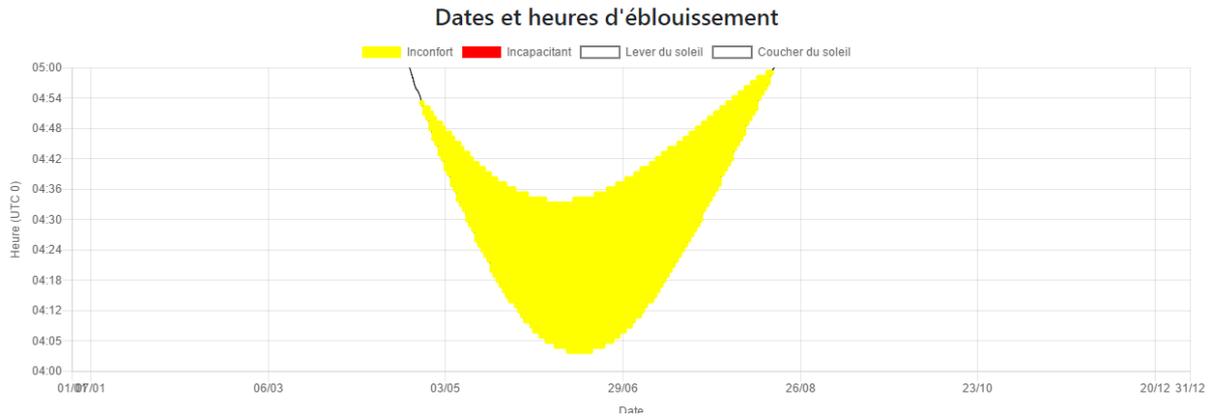


Figure 48 : Dates et heures d'éblouissement - Piste NON revêtue 04R-22L : Sud-Ouest - Secteur n°4

Les éblouissements d'inconfort sont observés entre 04h03 et 04h59.

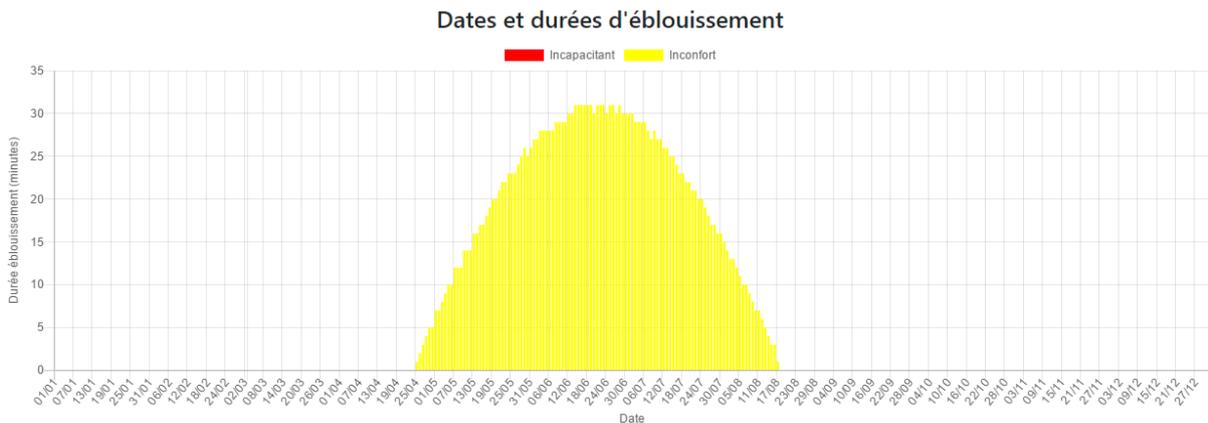


Figure 49 : Dates et durées journalières d'éblouissement - Piste NON revêtue 04R-22L : Sud-Ouest - Secteur n°4

Durée éblouissement (minutes)		Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Année
Cumul	Inconfort	0	0	0	20	532	892	729	136	0	0	0	0	2309
	Incapacitant	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	0	0	0	20	532	892	729	136	0	0	0	0	2309
Moyenne journalière	Inconfort	0	0	0	3	17	29	23	8	0	0	0	0	20
	Incapacitant	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	0	0	0	3	17	29	23	8	0	0	0	0	20

Tableau 8 : Durées (cumuls et moyennes) d'éblouissement (en minutes) - NON revêtue 04R-22L : Sud-Ouest - Secteur n°4

Caractérisation du risque d'éblouissement

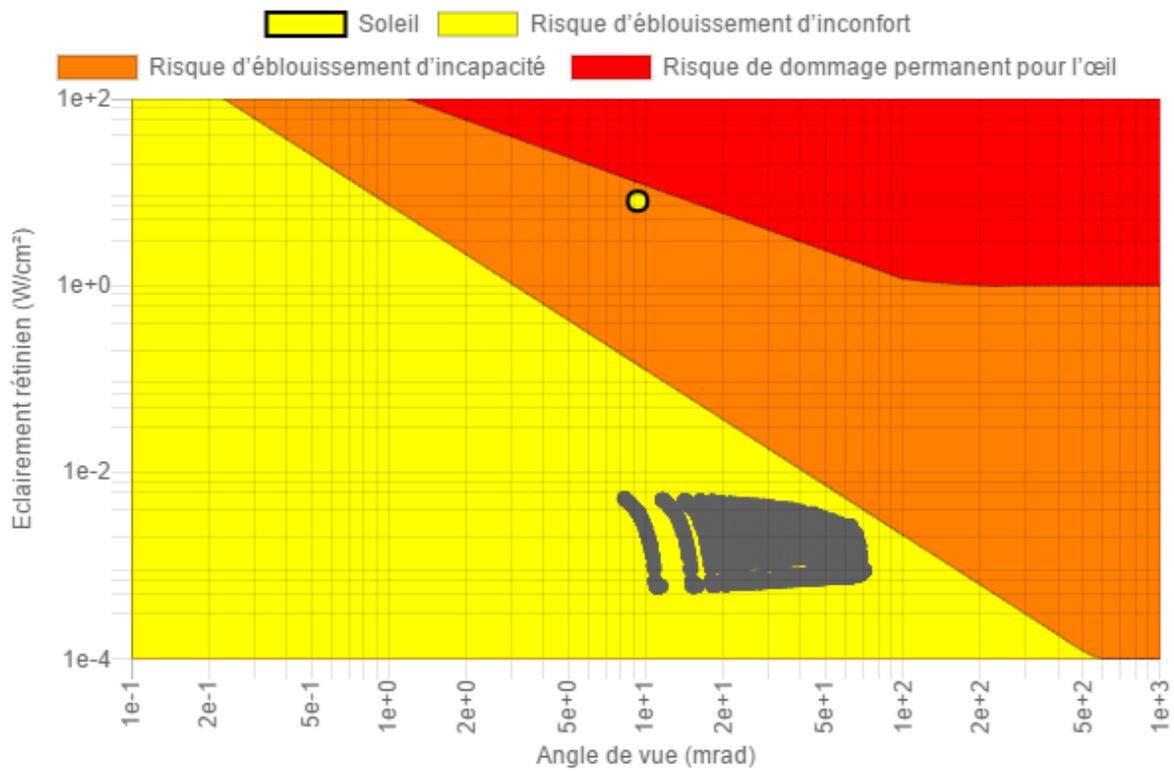


Figure 50 : Diagramme d'impact oculaire permettant de caractériser le risque d'éblouissement - Piste NON revêtue 04R-22L : Sud-Ouest - Secteur n°4

• Approche Nord-Est (QFU : 221°)

Les modules du secteur n°4 se situent en zone élargie pour l'approche Nord-Est de la piste NON revêtue 04R-22L.

La figure ci-dessous montre que les rayons réfléchis par les modules du secteur n°4 n'interceptent pas la trajectoire Nord-Est de la piste NON revêtue 04R-22L.

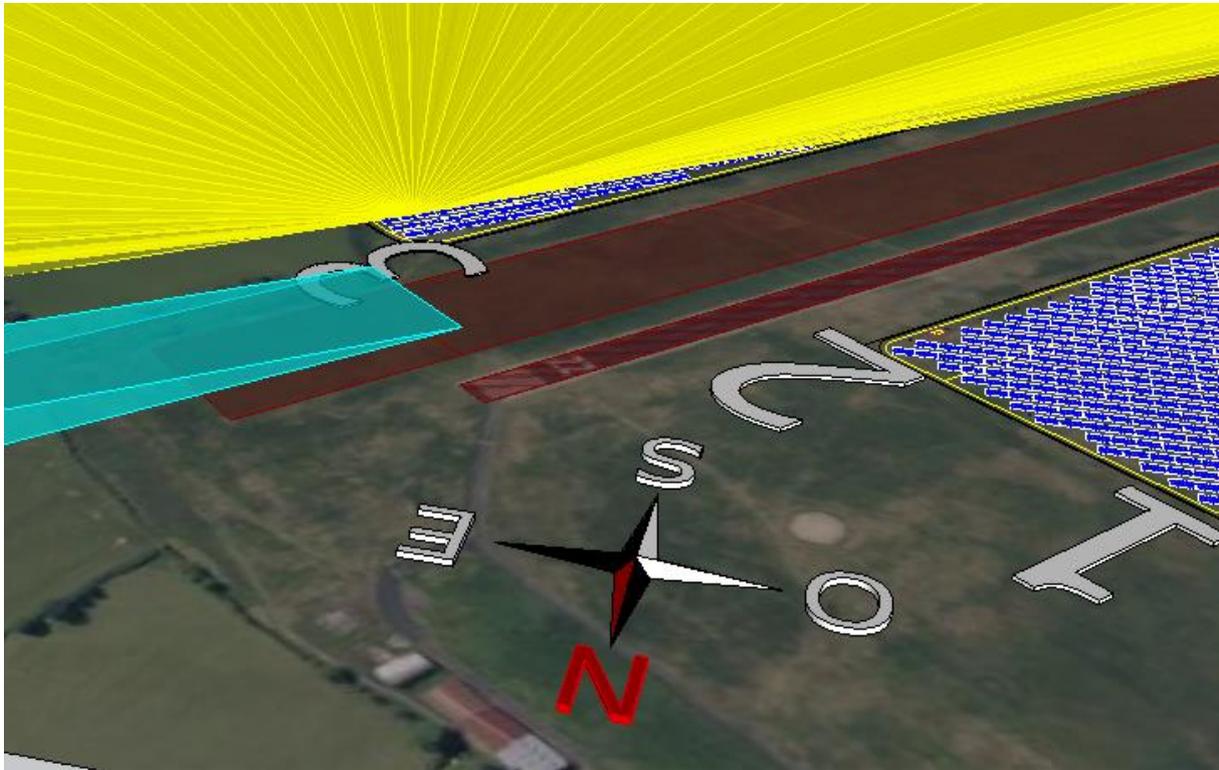


Figure 51 : Rayons réfléchis - Piste NON revêtue 04R-22L : Nord-Est - Secteur n°4

IV.4.2. Piste Revêtue 04-22

- Approche Sud-Ouest (QFU : 41°)

Les modules du secteur n°4 se situent en zone élargie pour l'approche Sud-Ouest de la piste Revêtue 04-22.

La surface des modules du secteur n°4 est de 130 000 m². Elle est supérieure à la limite de 500 m² définie par la DGAC dans le cas présent. La vérification de l'absence de gêne est donc nécessaire.

La figure ci-dessous montre que les rayons réfléchis par les modules du secteur n°4 interceptent les aéronefs pour l'approche Sud-Ouest de la piste Revêtue 04-22.

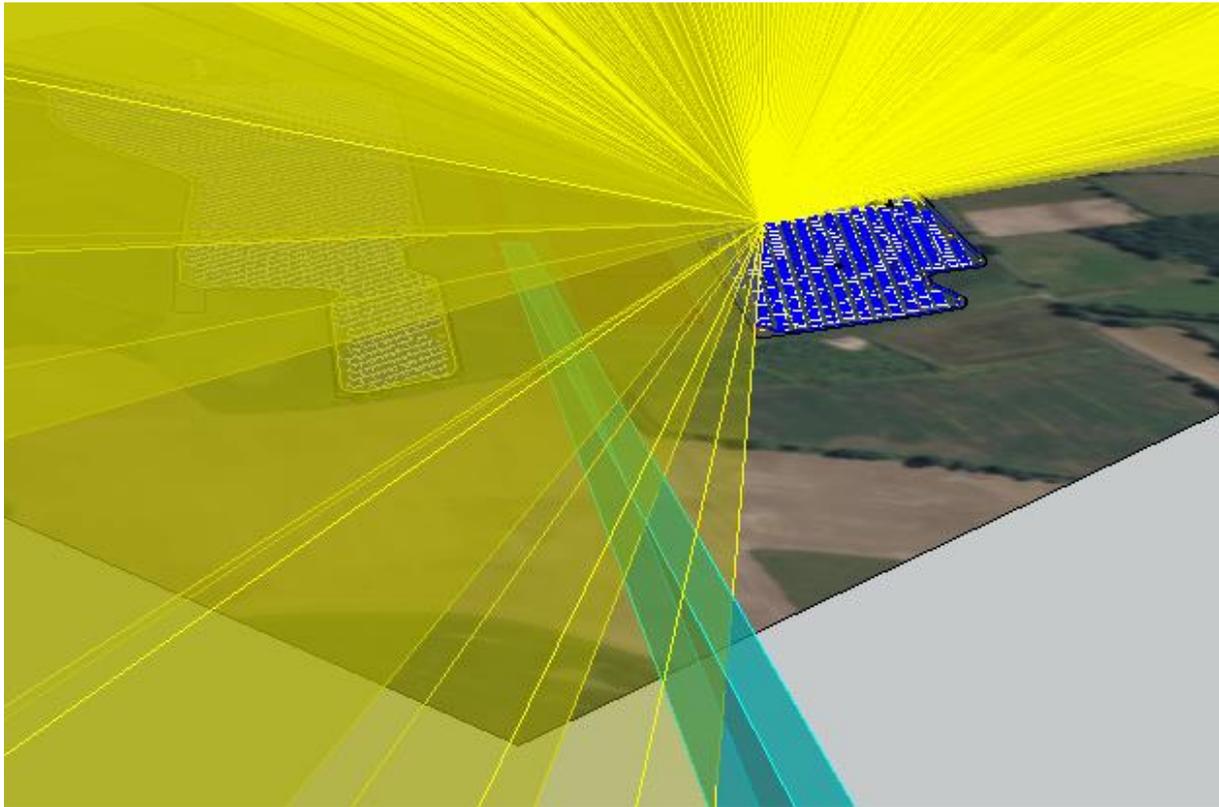


Figure 52 : Rayons réfléchis - Piste Revêtue 04-22 : Sud-Ouest - Secteur n°4

Comme décrit au § III, les angles minimums admissibles entre les rayons réfléchis et l'axe du regard du pilote sont ceux qui figurent dans la NIT v4. Ces angles sont associés à 3 zones A, B et C définies dans le même document¹³.

La Figure 21 représente les zones A, B et C pour l'approche.

Un calcul détaillé, réalisé pour tous les jours de l'année, montre que les rayons réfléchis interceptant les aéronefs n'induisent pas d'éblouissement d'incapacité pour les pilotes dans cette approche.

Les figures et le tableau ci-dessous exposent les résultats de ces calculs.

¹³ A l'exception de la zone C pour laquelle un angle de 90° est retenu, comme indiqué au § III.1.

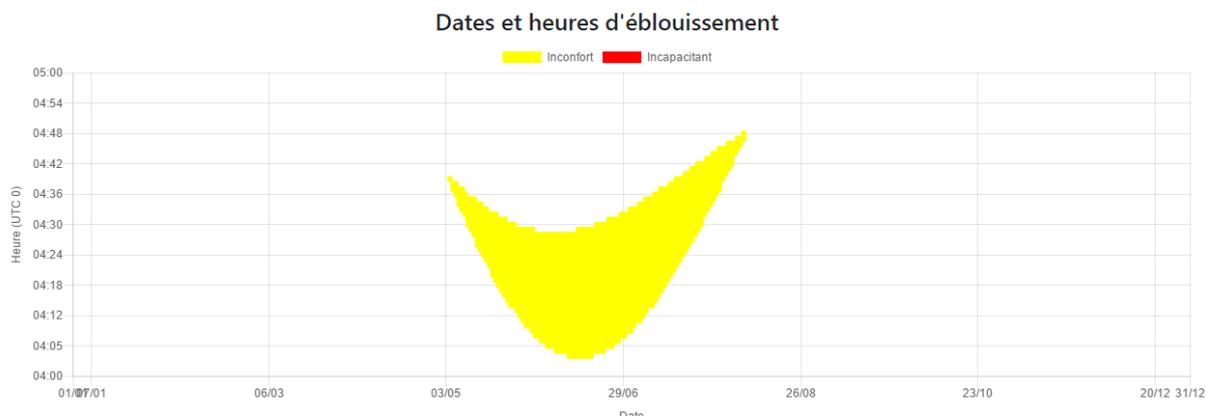


Figure 53 : Dates et heures d'éblouissement - Piste Revêtu 04-22 : Sud-Ouest - Secteur n°4

Les éblouissements d'inconfort sont observés entre 04h03 et 04h47.

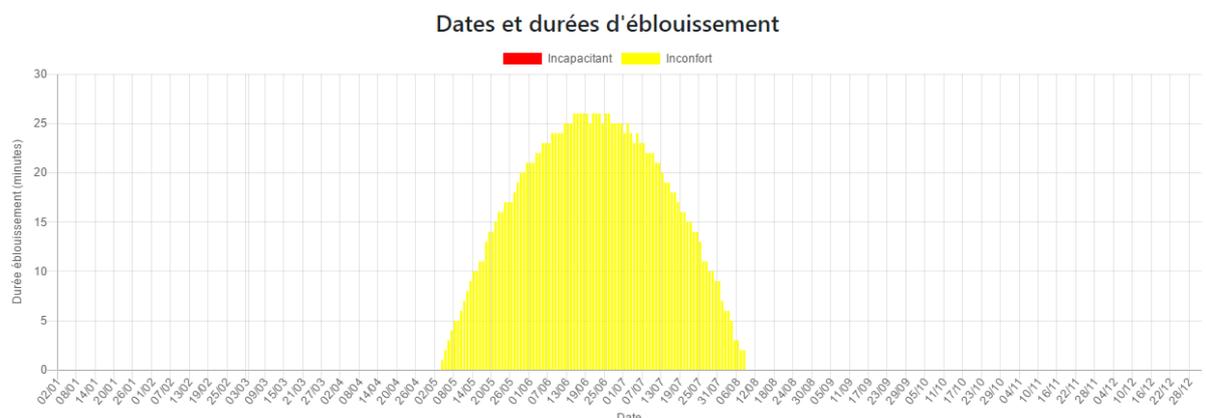


Figure 54 : Dates et durées journalières d'éblouissement - Piste Revêtu 04-22 : Sud-Ouest - Secteur n°4

Durée éblouissement (minutes)		Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Année
Cumul	Inconfort	0	0	0	0	329	736	548	34	0	0	0	0	1647
	Incapacitant	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	0	0	0	0	329	736	548	34	0	0	0	0	1647
Moyenne journalière	Inconfort	0	0	0	0	11	24	17	4	0	0	0	0	16
	Incapacitant	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	0	0	0	0	11	24	17	4	0	0	0	0	16

Tableau 9 : Durées (cumuls et moyennes) d'éblouissement (en minutes) - Piste Revêtu 04-22 : Sud-Ouest - Secteur n°4

Caractérisation du risque d'éblouissement

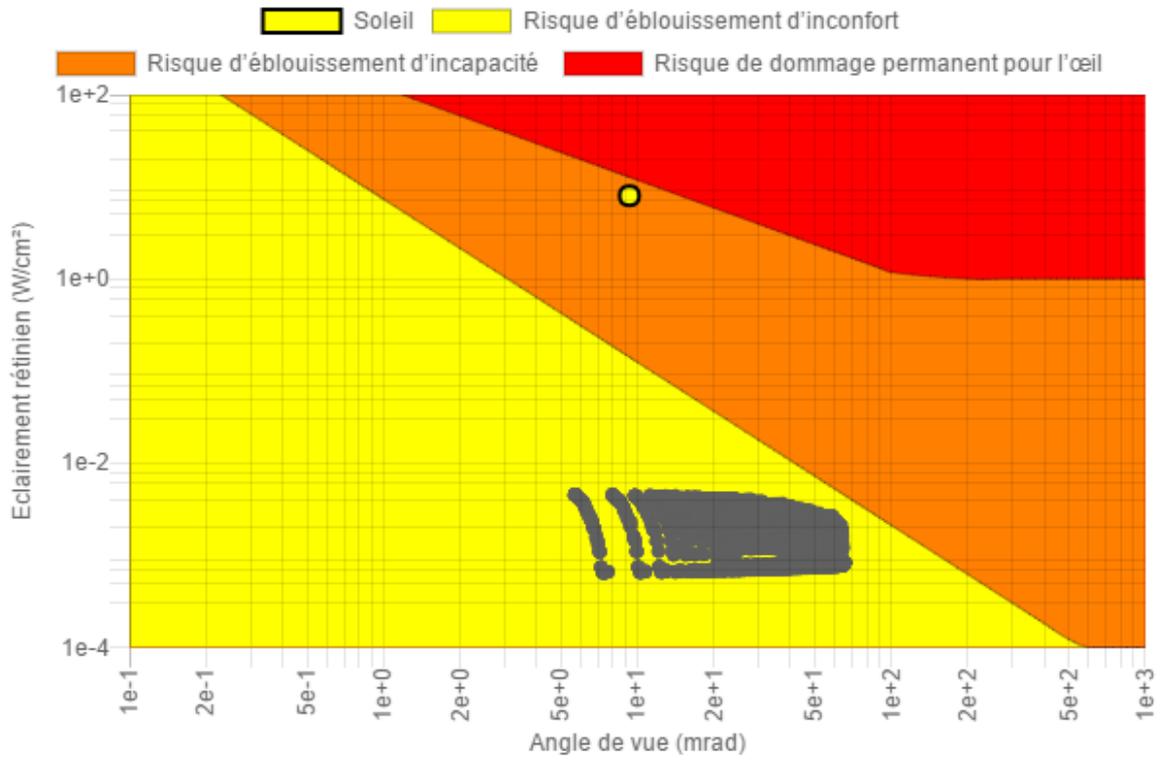


Figure 55 : Diagramme d'impact oculaire permettant de caractériser le risque d'éblouissement - Piste Revêtue 04-22 : Sud-Ouest - Secteur n°4

• Approche Nord-Est (QFU : 221°)

Les modules du secteur n°4 se situent en zone élargie pour l'approche Nord-Est de la piste Revêtue 04-22.

La figure ci-dessous montre que les rayons réfléchis par les modules du secteur n°4 n'interceptent pas la trajectoire Nord-Est de la piste Revêtue 04-22

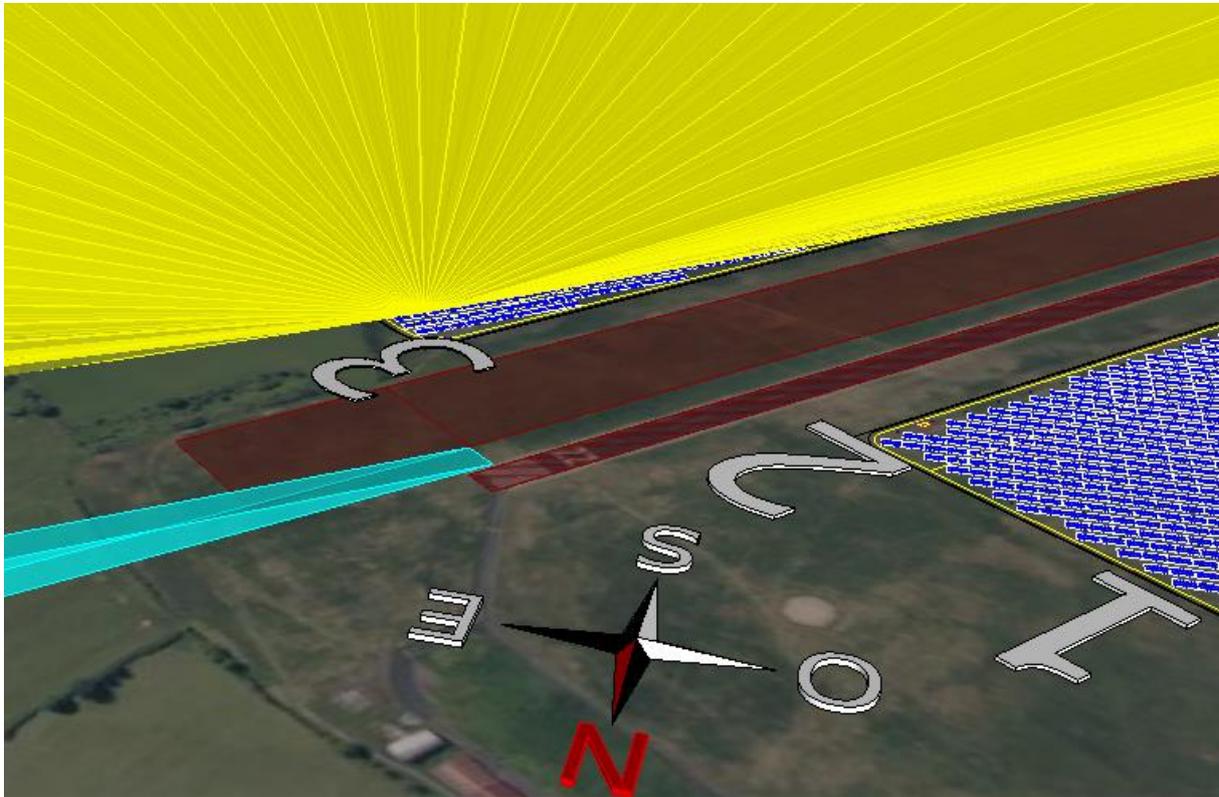


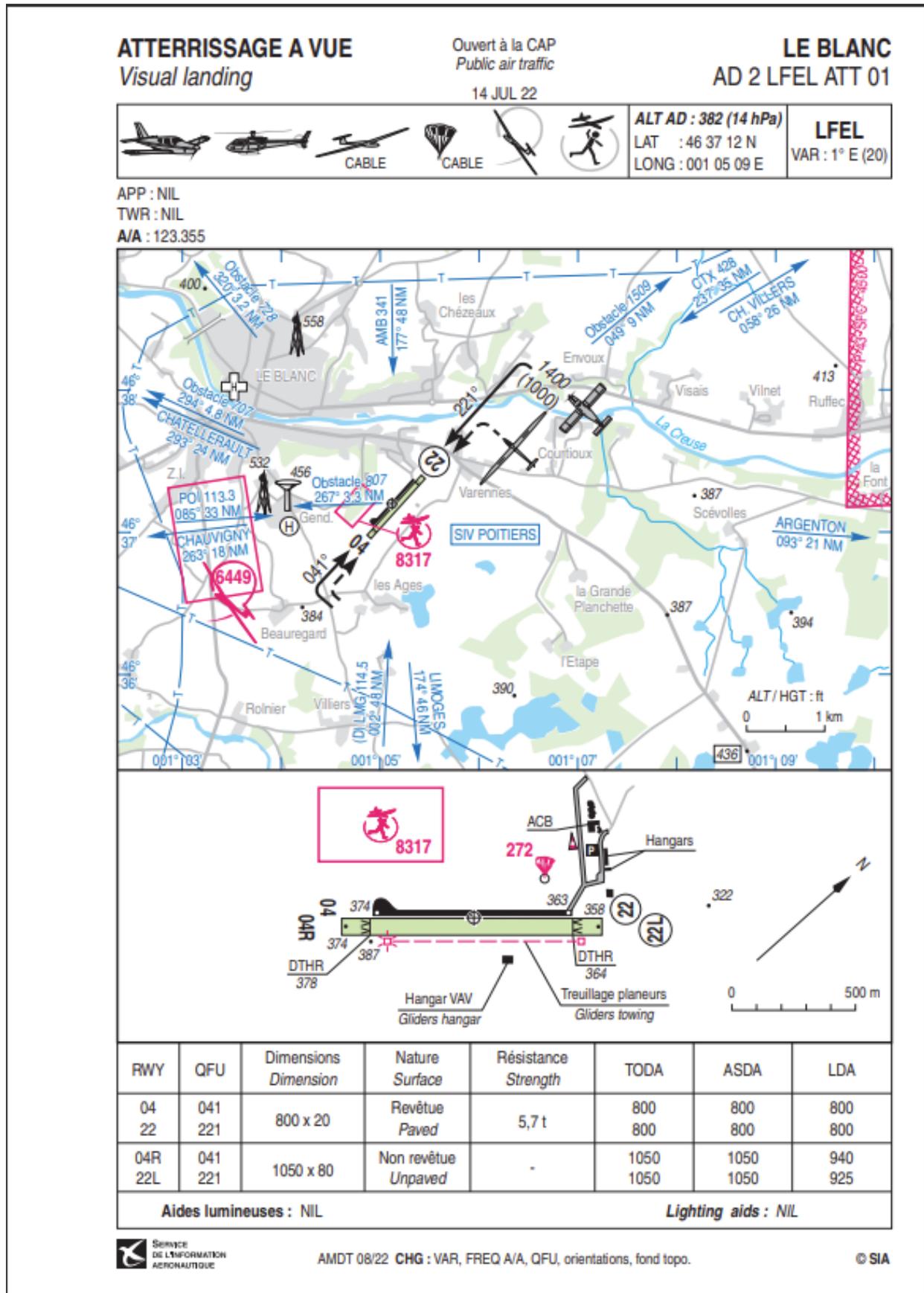
Figure 56 : Rayons réfléchis - Piste Revêtue 04-22 : Nord-Est - Secteur n°4

[IV.4.3. Conclusion - Secteur n°4](#)

Le secteur n°4 ne présente donc pas de risque d'éblouissement d'incapacité.

V. Annexes

V.1. Carte VAC



V.2. Hypothèses du calcul détaillé

Le calcul est réalisé pour tous les jours de l'année, toutes les minutes de l'heure de lever du soleil à son coucher.

La trajectoire d'approche est définie selon le type d'aéronef, comme :

- pour les avions : un segment d'une longueur de 3 km ayant pour origine un point situé à 15 mètres au-dessus du seuil de piste et dont l'angle avec le plan horizontal est de 3° (sauf mention contraire).
- pour les hélicoptères : plusieurs segments d'une longueur de 3 km ayant pour origine le début de début de la FATO et dont les angles avec le plan horizontal sont compris entre 2° et 8°, tous les degrés d'angle, soit 7 trajectoires d'approche.

La vérification de l'interception est faite tous les 2 m sur ce(s) segment(s).

Le rayon réfléchi à un instant t est modélisé par un cône dont l'ouverture est de 87,9 mrad. Cette valeur correspond à ce que donne [1] pour un module doté d'un verre non texturé sans couche anti-reflet. C'est une hypothèse conservatrice.

Lorsqu'une interception sous un angle inférieur à 30° ou 90° (selon la localisation de la centrale et de l'avion), un risque d'éblouissement est identifié. La distinction entre éblouissement d'inconfort et d'incapacité est alors réalisée selon la méthodologie décrite dans [1] et [2]. Elle consiste à calculer l'éclairement rétinien et l'angle de vue de la source (l'installation photovoltaïque) et à les positionner sur un diagramme de risque reproduit sur la figure ci-dessous.

Si le point est situé dans la zone de « low potential for after-image » (en vert), l'éblouissement sera dit d'inconfort et s'il est dans la zone de « potential for after-image » (en jaune), il sera dit d'incapacité (« potential for after-image »).

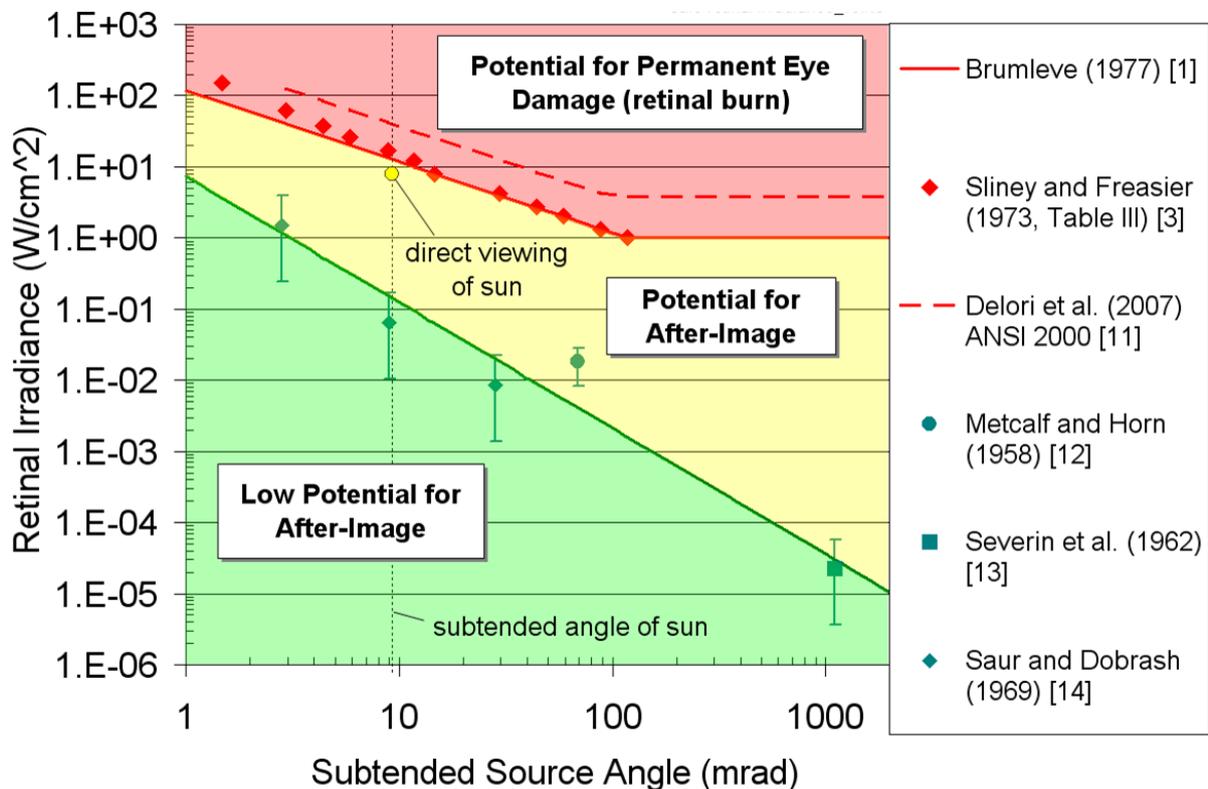


Figure 57 : diagramme de risque, issu de [2]

La vision directe du soleil est en zone jaune. Dans le cas d'une installation photovoltaïque, exempte de concentration optique, il est donc impossible de se situer dans la zone rouge.

Les différences notables avec le calcul décrit dans [1] sont les suivantes :

- L'algorithme permettant de calculer la position du soleil est celui du NREL : Solar Position Algorithm [3]
- Le calcul du DNI, à partir duquel est calculé l'éclairement rétinien, est réalisé grâce au modèle SMARTS2 [4], avec les paramètres suivants :
 - Climat : « mid latitude »
 - Zone : « rural »

Concernant les caractéristiques de réflexion des modules, comme indiqué précédemment, l'hypothèse conservatrice d'un module doté d'un verre non texturé sans couche anti-reflet a été retenue. Le coefficient de réflexion, fonction de l'angle d'incidence, donné dans [1], est reproduit ci-dessous.

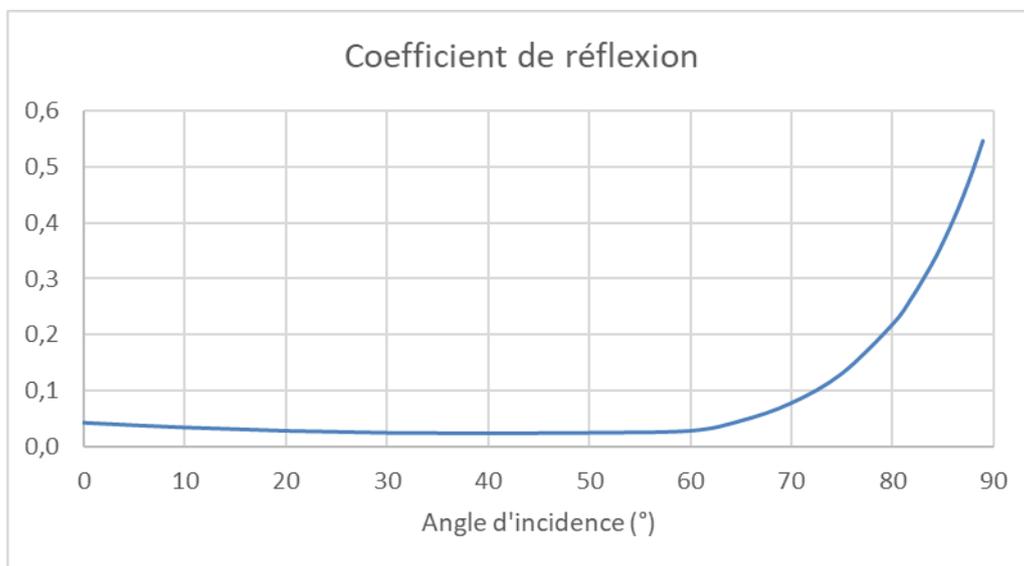


Figure 58 : coefficient de réflexion en fonction de l'angle d'incidence pour un verre non texturé sans couche anti-reflet (d'après [1])

VI. Références

- [1] Solar Glare Hazard Analysis Tool (SGHAT) Technical Reference Manual, March 2015
- [2] Ho et al, Methodology to Assess Potential Glint and Glare Hazards From Concentrating Solar Power Plants : Analytical Models and Experimental Validation, Journal of Solar Energy Engineering, August 2011, Vol. 133
- [3] Reda, I. and Andreas, A. Solar Position Algorithm for Solar Radiation Applications. NREL Report No. TP-560-34302. Revised January 2008
- [4] Gueymard, C., SMARTS2, A Simple Model of the Atmospheric Radiative Transfer of Sunshine: Algorithms and performance assessment, December 1995