

Évaluation du risque d'éblouissement
par des modules photovoltaïques
(Centrale au sol)
Aérodrome de Vitry le François
Vauclerc



Cythelia Energy

Date : 07/03/2022

Version : 1

Rédigé par :

Caroline BERNARD

Validé par :

Modifications :

I. Table des matières

| | |
|--|----|
| I. Table des matières..... | 2 |
| II. Résumé | 3 |
| III. Méthodologie | 4 |
| III.1. Calcul du vecteur Réflexion | 5 |
| III.2. Rayons réfléchis par les modules..... | 7 |
| III.3. Relief/Topographie | 8 |
| III.4. Vérification réglementaire..... | 8 |
| III.5. Définition des zones..... | 9 |
| III.5.1. Pistes..... | 9 |
| III.5.2. Tour de contrôle | 11 |
| IV. Analyse du risque d'éblouissement..... | 12 |
| IV.1. Piste RWY 11-29 | 12 |
| IV.1.1. Approche Ouest (QFU : 112°)..... | 12 |
| IV.1.2. Approche Est (QFU : 292°)..... | 13 |
| V. Annexes | 14 |
| V.1. Carte VAC..... | 14 |

II. Résumé

La société Urbasolar souhaite réaliser une centrale photovoltaïque au sol d'une puissance de 15,2 MWc à Thiéblemont-Farémont, à proximité de l'Aérodrome Vitry le François Vauclerc.

La note d'information technique (4^{ème} édition du 27 juillet 2011) de la DGAC sur les projets d'installation de panneaux photovoltaïques stipule que « certaines réflexions du soleil sur les installations photovoltaïques situées à proximité des aérodromes sont susceptibles de gêner les pilotes dans les phases de vol proches du sol ou d'entraver le bon fonctionnement de la tour de contrôle ». En conséquence, il est nécessaire d'évaluer les risques d'éblouissement pour les pilotes en phase d'approche. La présente étude a pour objet d'identifier les moments critiques, où ce risque est présent.

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

Tableau 1 : synthèse de l'analyse

| | Approche | QFU | Orientation ° | Inclinaison ° | Zone | Risque | Commentaires |
|------------------|-----------|-----|---------------|---------------|-----------|--------|--------------------|
| RWY 23-05 | Nord-Est | 224 | 0° | 15° | Hors zone | NON | / |
| | Sud-Ouest | 44 | | | Hors zone | NON | / |
| RWY 11-29 | Ouest | 112 | | | A | NON | Pas d'interception |
| | Est | 292 | | | A | NON | Pas d'interception |

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

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.

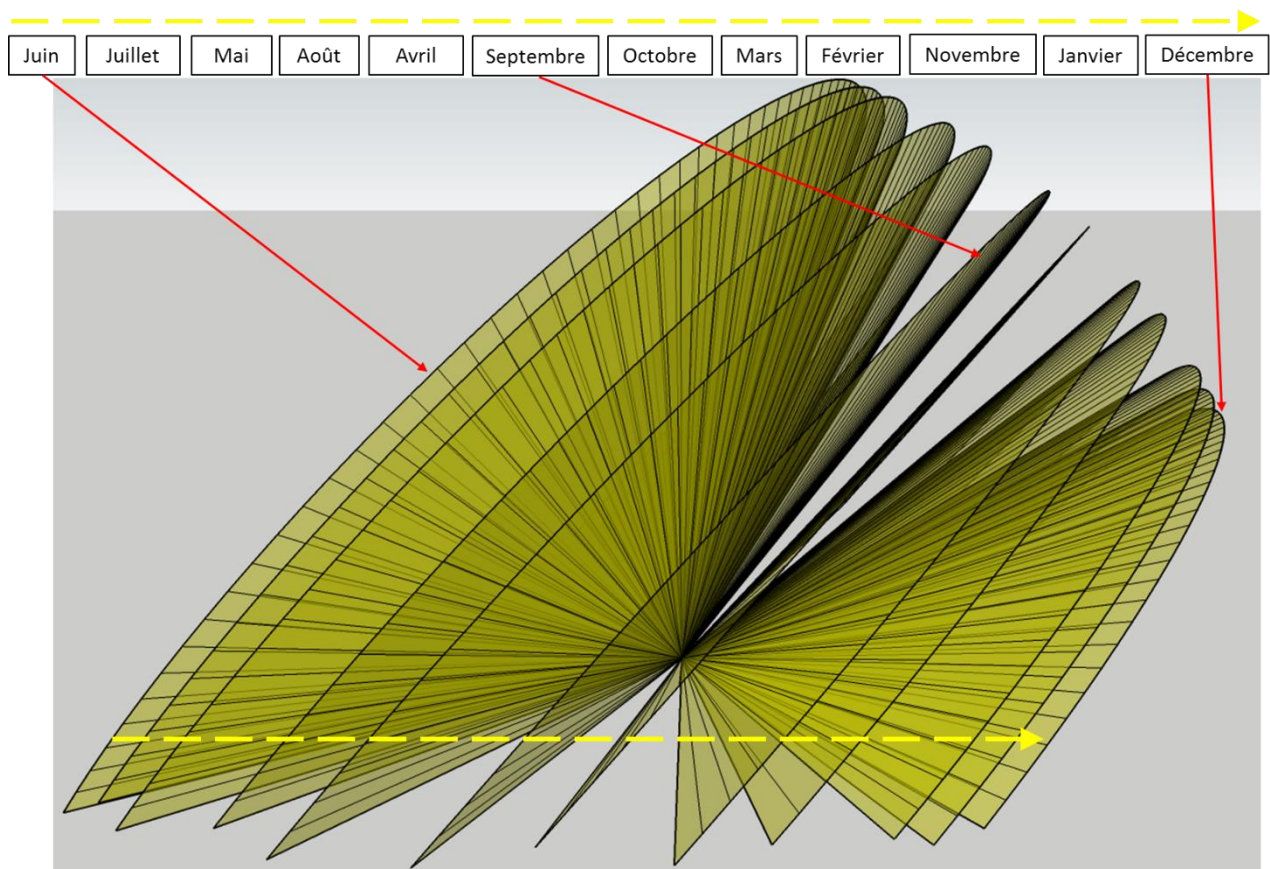


Figure 1 : Surfaces de rayons réfléchis (exemple)

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.**

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.

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)).

III.1. Calcul du vecteur Réflexion

Les coordonnées du site sont : 48.68221 ; 4.70404



Figure 2 : Localisation des 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.

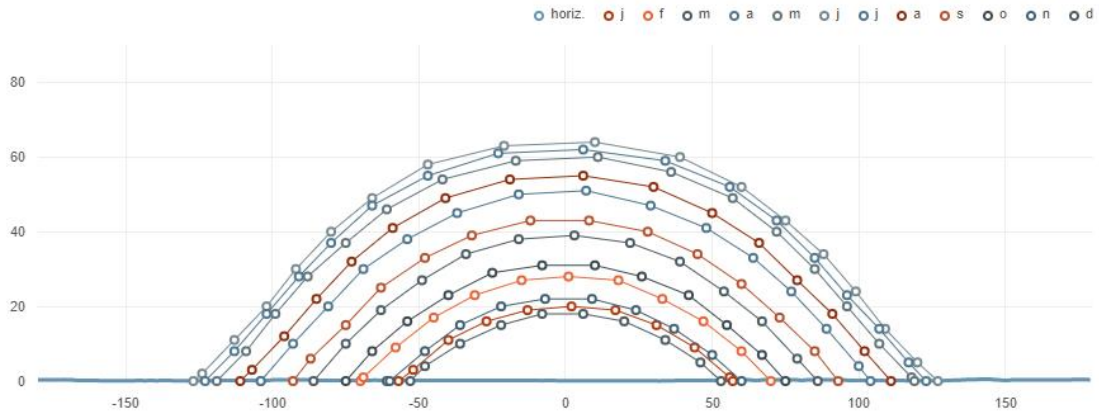


Figure 3 : Masque lointain sur le site

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/>

La même figure permet de constater que le masque peut être négligé.

III.2. 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.

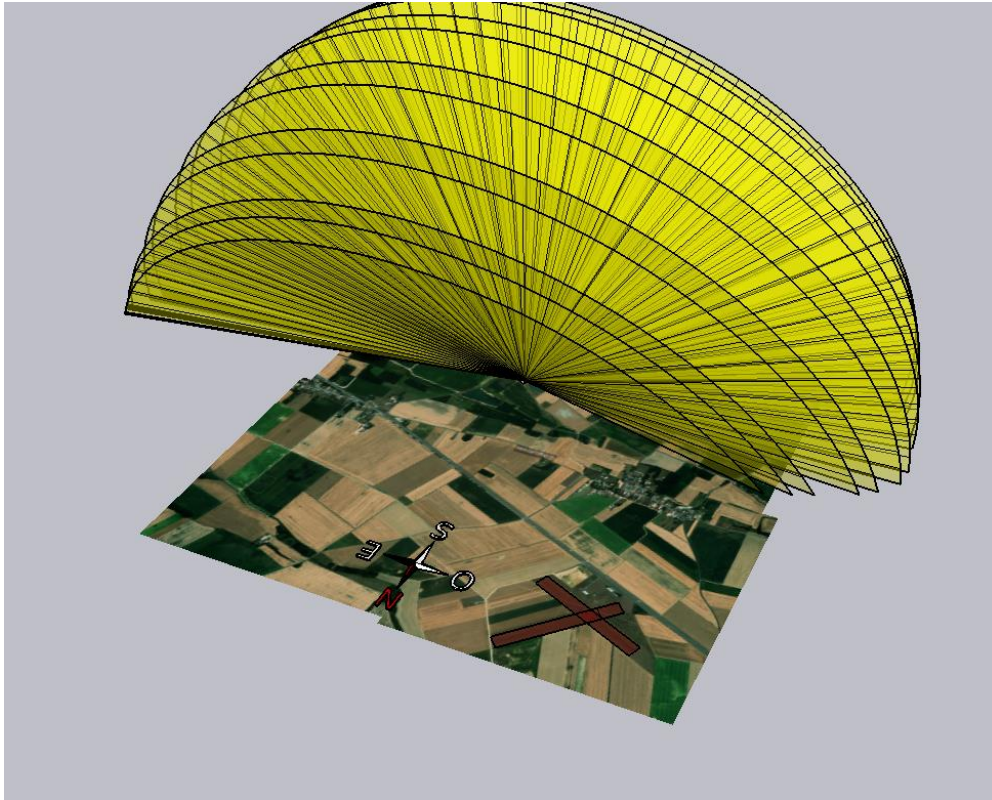


Figure 4 : Représentation 3D des rayons réfléchis sur 12 mois

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.

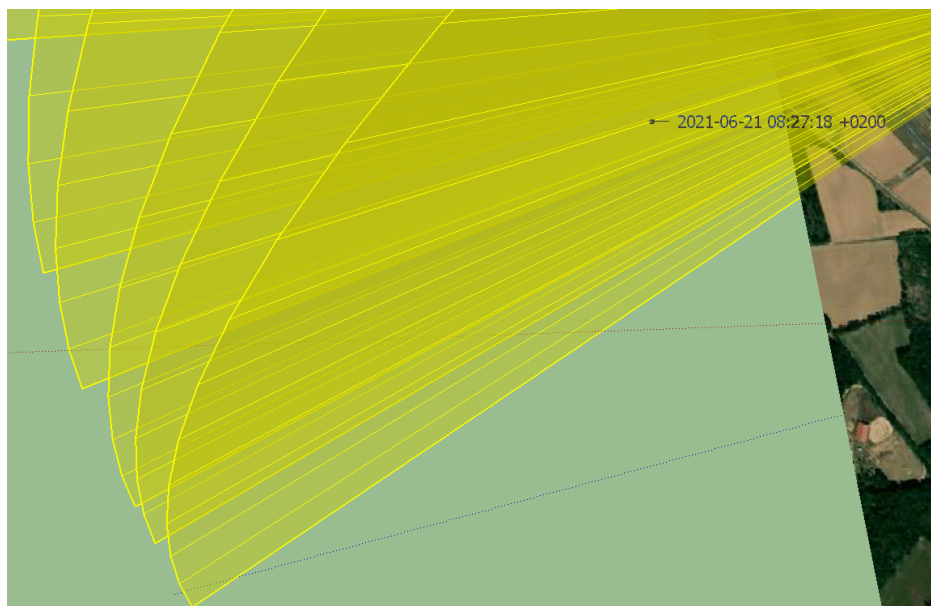


Figure 5 : Accès aux dates et heures de la représentation des rayons réfléchis

III.3. Relief/Topographie

La prise en compte de la topographie, c'est à dire le fait qu'un rayon réfléchi puisse être arrêté par le terrain, ne fait partie de l'analyse. Les dénivellations sont en effet très faibles.

III.4. Vérification réglementaire

L'installation est prévue sur un terrain d'environ 14,5 ha, et représentent une puissance de 15,2 Mwc environ.

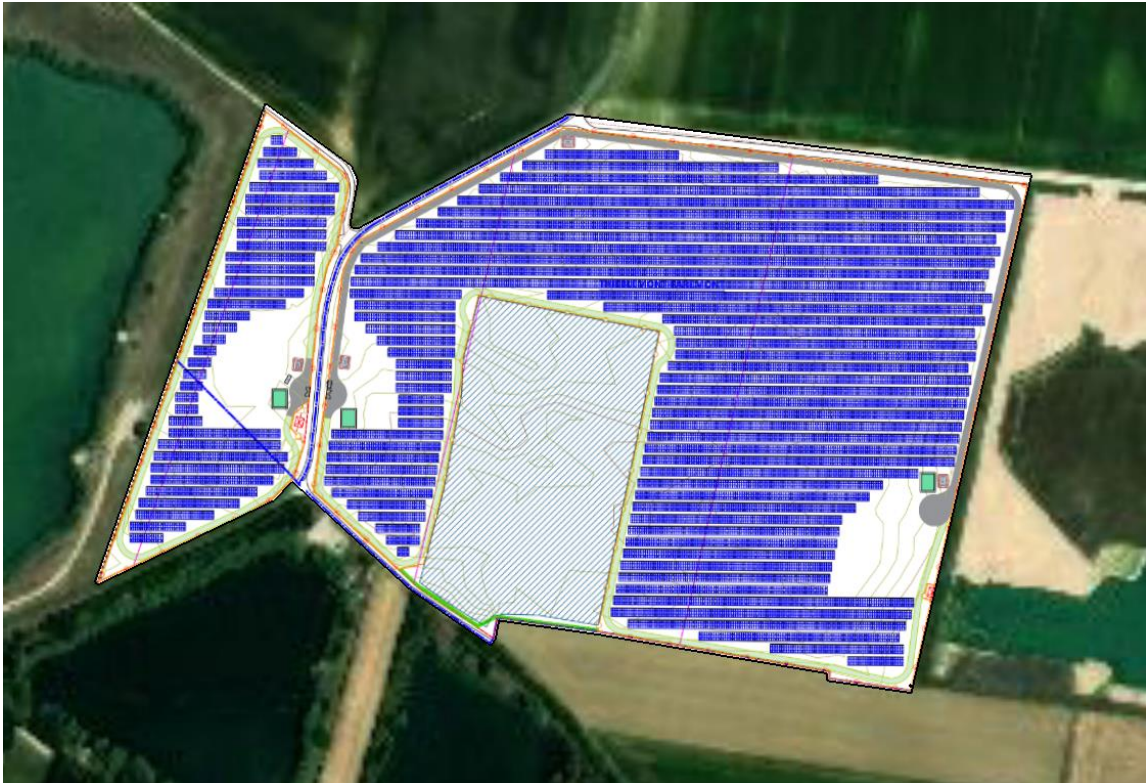


Figure 6 : implantation des modules

Les modules sont tous implantés selon la même orientation 0° (plein Sud) et la même inclinaison 15° .

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 à plus de 2 100 m de la piste la plus proche.

La centrale n'est pas positionnée dans la bande d'une piste, dans les aires de sécurité d'extrémité de piste ou dans les bandes de voies de circulations.

La centrale n'est donc pas située dans une zone d'implantation interdite.

III.5. Définition des zones

III.5.1. Pistes

L'Aérodrome de Vitry le François Vauclerc dispose de deux pistes, indiquées sur la carte VAC dont un extrait est reproduit en Figure 7 :

- piste RWY 23-05 avec une approche Nord-Est (QFU : 224°) et une approche Sud-Ouest (QFU : 44°)
- piste RWY 11-29 avec une approche Ouest (QFU : 112°) et une approche Est (QFU : 292°)

La centrale a une surface supérieure à 500 m² et est située dans un rayon inférieur à 3 km d'une des pistes de l'aéroport. Il est donc nécessaire de démontrer l'absence de gêne visuelle des pilotes.

L'analyse conduit à considérer, pour chaque piste, 3 zones (A, B et C) distinctes relatives à l'implantation du projet. Ces zones sont définies dans la note d'information technique de la DGAC (Révision 4, 27/07/2011).

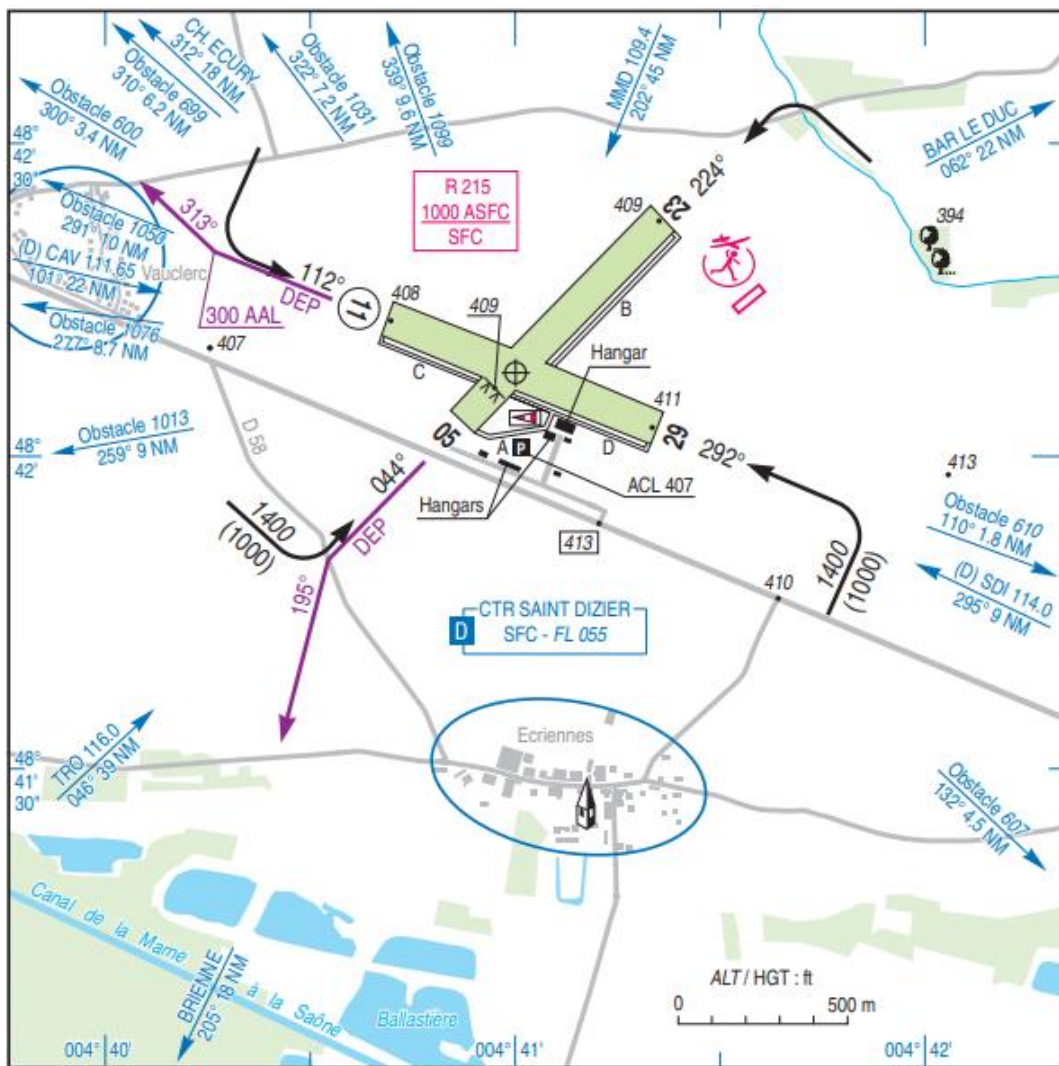


Figure 7 : extrait carte VAC

Les figures suivantes représentent les zones DGAC (A, B et C) pour chaque approche.

• RWY 23-05



Figure 8 : Repérage des Zones A (), B () et C () – Piste RWY 23-05

La centrale se situe en dehors des zones A, B et C pour les deux approches. La vérification de l'absence de gêne visuelle n'est donc pas nécessaire.

• RWY 11-29



Figure 9 : Repérage des Zones A (), B () et C () – Piste RWY 11-29

Comme le montre la figure ci-dessus, une partie de la centrale se trouve en zone A pour les deux approches,

La surface de modules situé en zone A étant supérieure à 500 m², il est nécessaire de démontrer l'absence de gêne visuelle pour les pilotes.

En effet, la note technique de la DGAC précise que, en zone A :

« Pour tout projet situé dans cette zone, il y a absence de gêne visuelle au titre de la zone A, pour un pilote, lui-même présent dans la zone A (aéronef aligné sur l'axe d'approche publié de la piste ou sur la piste au roulage), si l'une au moins des conditions suivantes est remplie :

- *comme indiqué au § 2.3.3.3, la surface est inférieure à 500 m² ;*
- *le porteur de projet a démontré qu'aucun faisceau lumineux n'éclaire le pilote en toute circonstance en le gênant visuellement.*

Dans le cas d'un faisceau lumineux éclairant le pilote, il y a gêne visuelle au titre de la zone A pour toute réflexion en direction du pilote produisant une luminance supérieure à un seuil d'acceptabilité fixé à 20 000 cd/m², sous un angle de vision (entre le rayon réfléchi et l'axe du regard vers la piste) compris entre -30° et +30° et à une distance inférieure à 3 000 m entre le pilote et les panneaux. »

III.5.2. Tour de contrôle

L'aérodrome ne dispose pas de tour de contrôle.

IV. Analyse du risque d'éblouissement

Nous considérons pour les trajectoires d'approche un angle compris entre 1° et 5°, soit 3° (angle d'approche standard²) $\pm 2^\circ$, jusqu'à une distance de 3 km. Nous étudierons le cas des rayons réfléchis par les modules pour chaque piste et approche.

Sur les vues suivantes, les zones en bleu ciel correspondent aux trajectoires d'approche ainsi modélisées. Ces volumes d'approche (entre 1° et 5°) à sont également plus simples à analyser de manière graphique qu'un plan d'approche avec une pente 3°.

IV.1. Piste RWY 11-29

IV.1.1. Approche Ouest (QFU : 112°)

Les modules de la centrale au sol se situent en partie en zone A pour l'approche Ouest de la piste RWY 11-29.

Sur la figure ci-dessous, le module origine des rayons réfléchis est choisi en bordure Nord de la centrale, au plus proche de la piste et de la trajectoire d'approche.

La figure ci-dessous montre que les rayons réfléchis par les modules de la centrale au sol n'interceptent pas la trajectoire Ouest de la piste RWY 11-29.

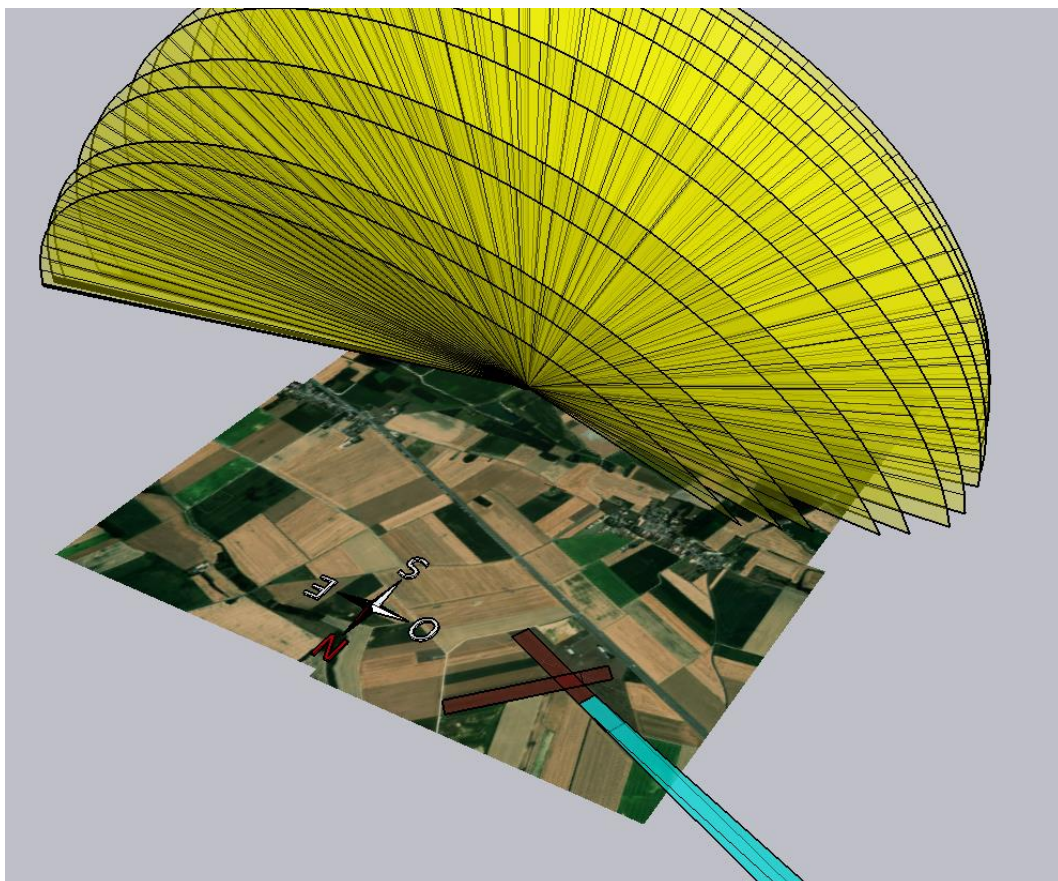


Figure 10 : Rayons réfléchis RWY 11-29 : Approche Ouest - Centrale au sol

Le risque d'éblouissement au titre de la zone A peut donc être écarté en approche Ouest pour la piste RWY 11-29.

² D'après GUIDESAC Approbation Approche à forte pente – Edition 1 – Version 0 du 30/04/2019 (disponible sur https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Guide_approbation_approche_forte_pente.pdf), la pente du plan d'approche standard est de 3° (Préambule, page 3). Au-delà de 4,5°, une approbation spéciale est nécessaire. La fourchette 1°-5° permet donc de couvrir les cas les plus courants.

IV.1.2. Approche Est (QFU : 292°)

Sur la figure ci-dessous, le module origine des rayons réfléchis est choisi en bordure Nord de la centrale, au plus proche de la piste et de la trajectoire d'approche.

La figure ci-dessous montre que les rayons réfléchis par les modules de la centrale au sol n'interceptent pas la trajectoire Est de la piste RWY 11-29.

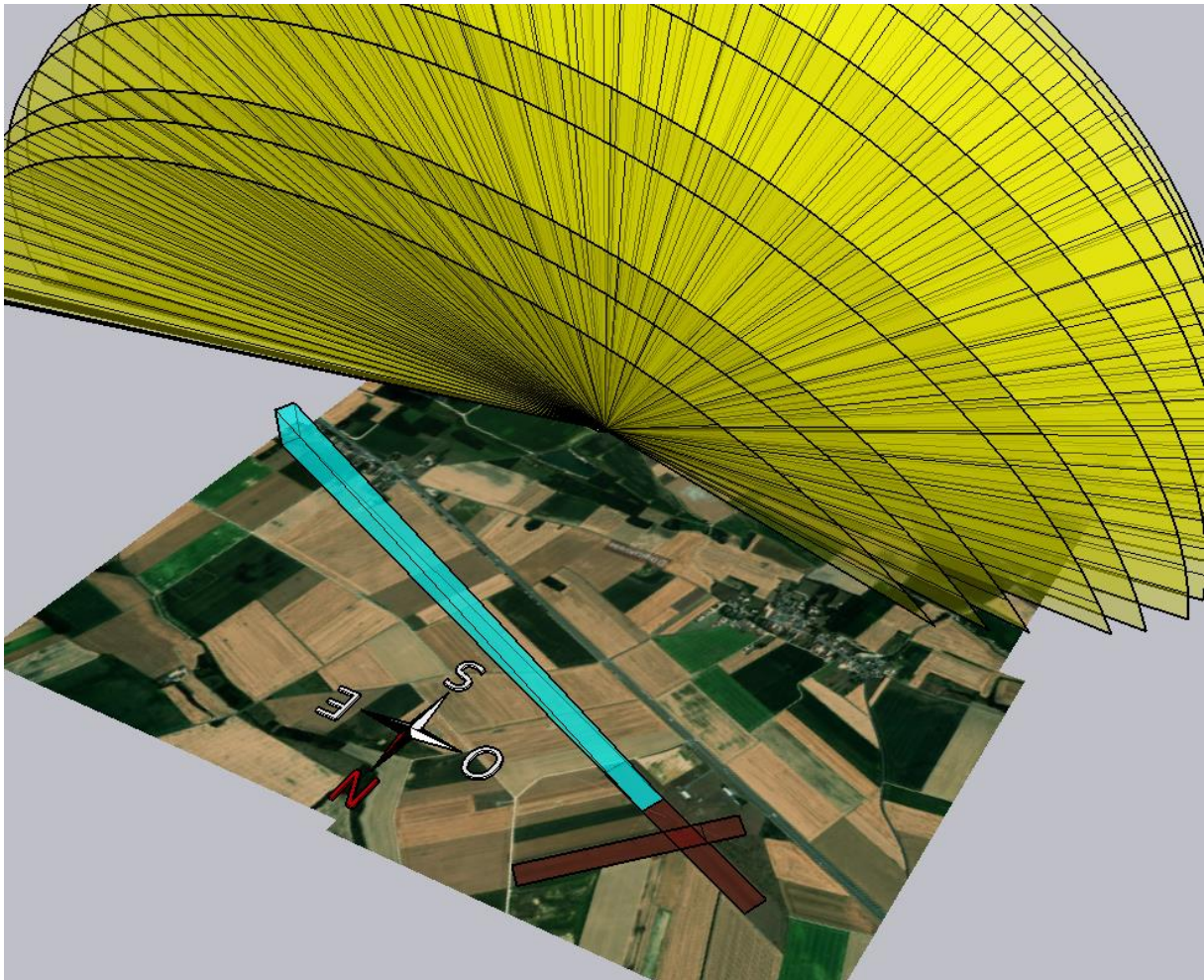


Figure 11 : Rayons réfléchis RWY 11-29 : Approche Est - Centrale au sol

Le risque d'éblouissement au titre de la zone A peut donc être écarté en approche Est pour la piste RWY 11-29.

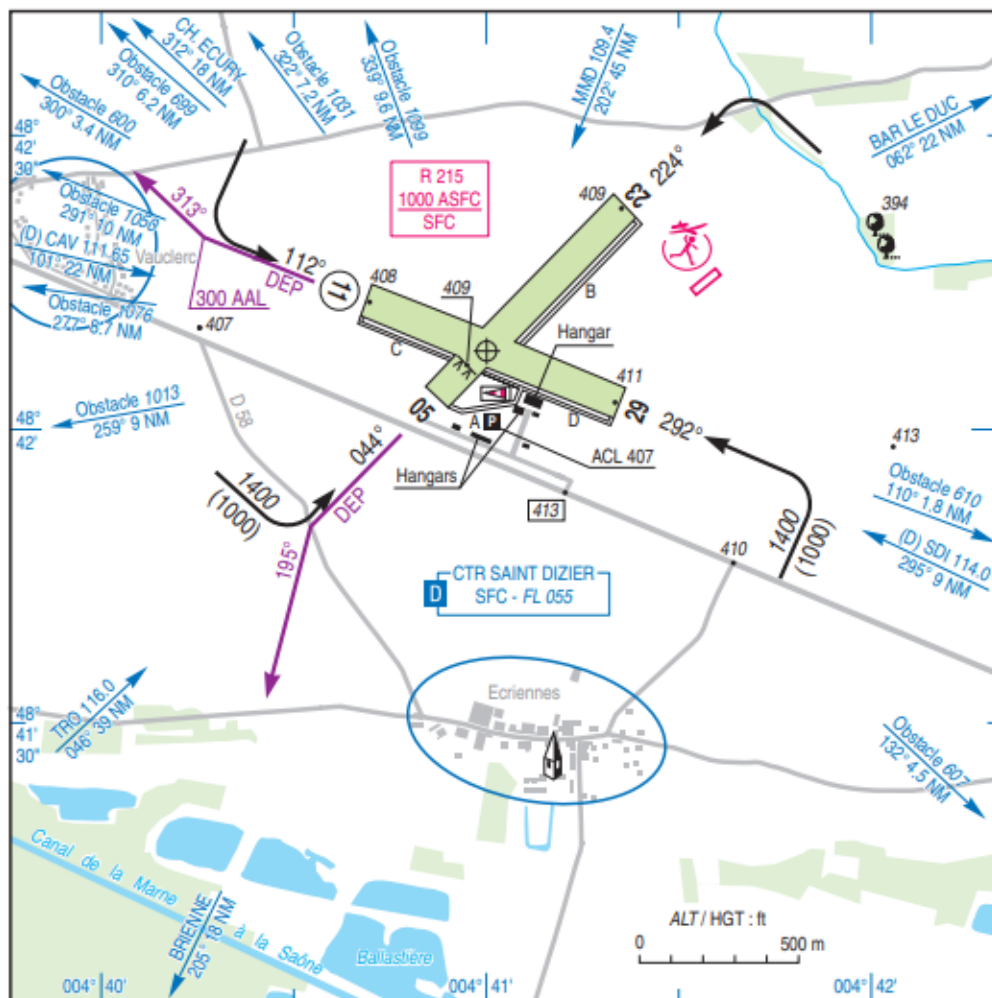
V. Annexes

V.1. Carte VAC

ATTERRISSAGE A VUE Ouvert à la CAP **VITRY LE FRANCOIS VAUCLERC**
Visual landing *Public air traffic* **AD 2 LFSK ATT 01**
 21 JUN 18

| | | |
|--|--|--------------------------------|
| | ALT AD : 411 (14 hPa) LAT : 48 42 08 N LONG : 004 41 00 E | LFSK VAR : 1° E (15) |
|--|--|--------------------------------|

APP : NIL
 TWR : NIL
 A/A : 123.5



| RWY | QFU | Dimensions Dimension | Nature Surface | Résistance Strength | TODA | ASDA | LDA |
|-----|-----|-------------------------|------------------------|------------------------|------|------|-----|
| 23 | 224 | 860 x100 | Non revêtue Unpaved | - | 860 | 860 | 860 |
| 05 | 044 | | | | 860 | 860 | 710 |
| 11 | 112 | 870 x100 | Non revêtue Unpaved | - | 870 | 870 | 870 |
| 29 | 292 | | | | 870 | 870 | 870 |

Aides lumineuses : NIL

Lighting aids : NIL



AMDT 08/18 CHG : VAR, QFU, dimension piste, distances déclarées, infrastructure.

© SIA