



TotalEnergies
Agence Bourgogne-Franche-Comté
38, Avenue Françoise Giroud
21000 Dijon

ANNEXE III

EVALUATION DU RISQUE D'EBLOUISSEMENT PAR DES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES (CYTHELIA ENERGY)

PROJET PHOTOVOLTAÏQUE DE COLOMBE-LES-VESOUL
Commune de Colombe-lès-Vesoul
Département de la Haute-Saône (70)



BUREAU D'ÉTUDES JACQUEL & CHATILLON

Environnement et Energies
www.be-jc.com

Réalisation du dossier :
Bureau d'Études JACQUEL & CHATILLON
3, quai des Arts
51000 CHALONS-EN-CHAMPAGNE
Tél. : 03.26.21.01.97

MAI 2023

Évaluation du risque d'éblouissement par des modules photovoltaïques (au sol)

Aérodrome de Vesoul-Frotey



Cythelia Energy

Date : 06/04/2022	Rédigé par : Borso Diop	Validé par : Ismaël LOKHAT	Modifications :
Version : 1			

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
IV. Annexes.....	12
IV.1. Carte VAC.....	12

II. Résumé

La société Total Energies souhaite réaliser une centrale photovoltaïque au sol d'une puissance de 3 MWc, sur un terrain situé à Clombe-les-Vesoul (70), à proximité de l'aérodrome de Vesoul-Frotey.

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

Orient°	Inclin°	Pistes	Approche	RWY	QFU	Zone	Risque
0°	20°	08-26	Sud-Ouest	08-26	80	-	NON
			Nord-Est		260	-	NON
0°	20°	08R-26L	Sud-Ouest	08R-26L	80	-	NON
			Nord-Est		260	-	NON

Quelles que soient la piste et l'approche considérées, la centrale photovoltaïque ne présente aucun risque d'éblouissement pour les pilotes d'aéronefs.

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.

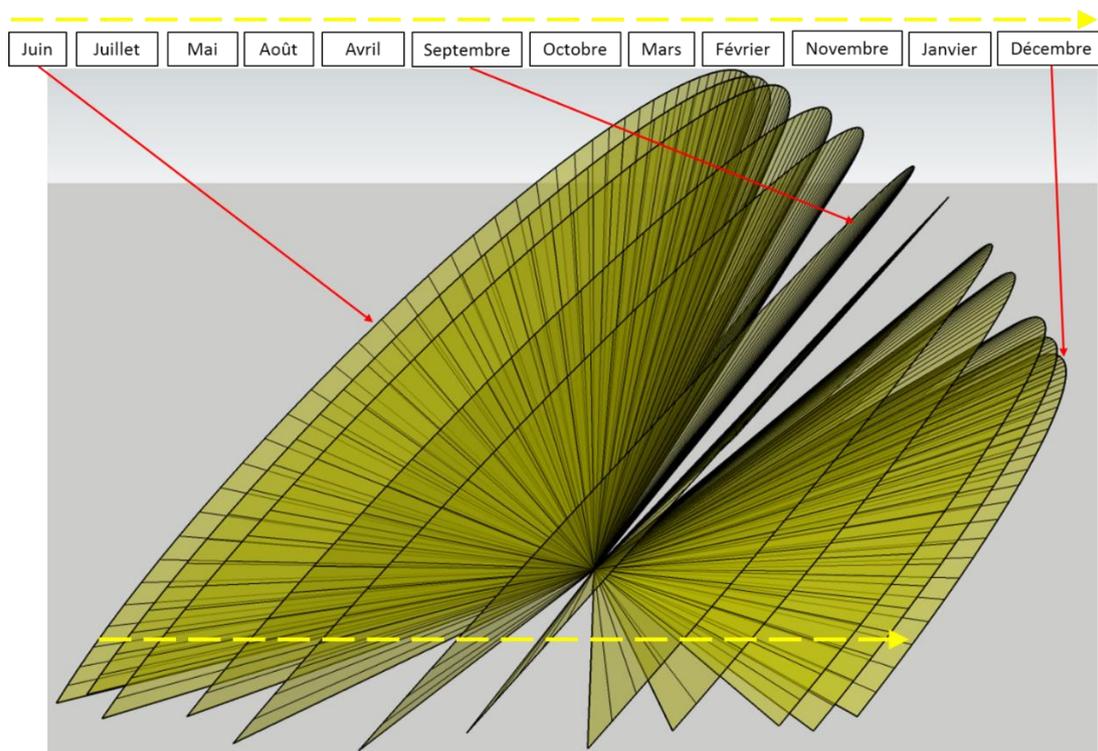


Figure 1 : Surfaces de rayons réfléchis (exemple)

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.

3. Contrôle de l'angle entre rayons réfléchis et l'axe du regard du pilote, le cas échéant.

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)).

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 (déterminé à partir de l'analyse graphique) 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. Dans ce cas, étant donné le nombre très important de rayons réfléchis à afficher, l'approche graphique n'est plus possible, et l'analyse doit se faire sur la base des tableaux de résultats des calculs.

III.1. Calcul du vecteur Réflexion

Les coordonnées du site sont : 47,62335 ; 6,21559

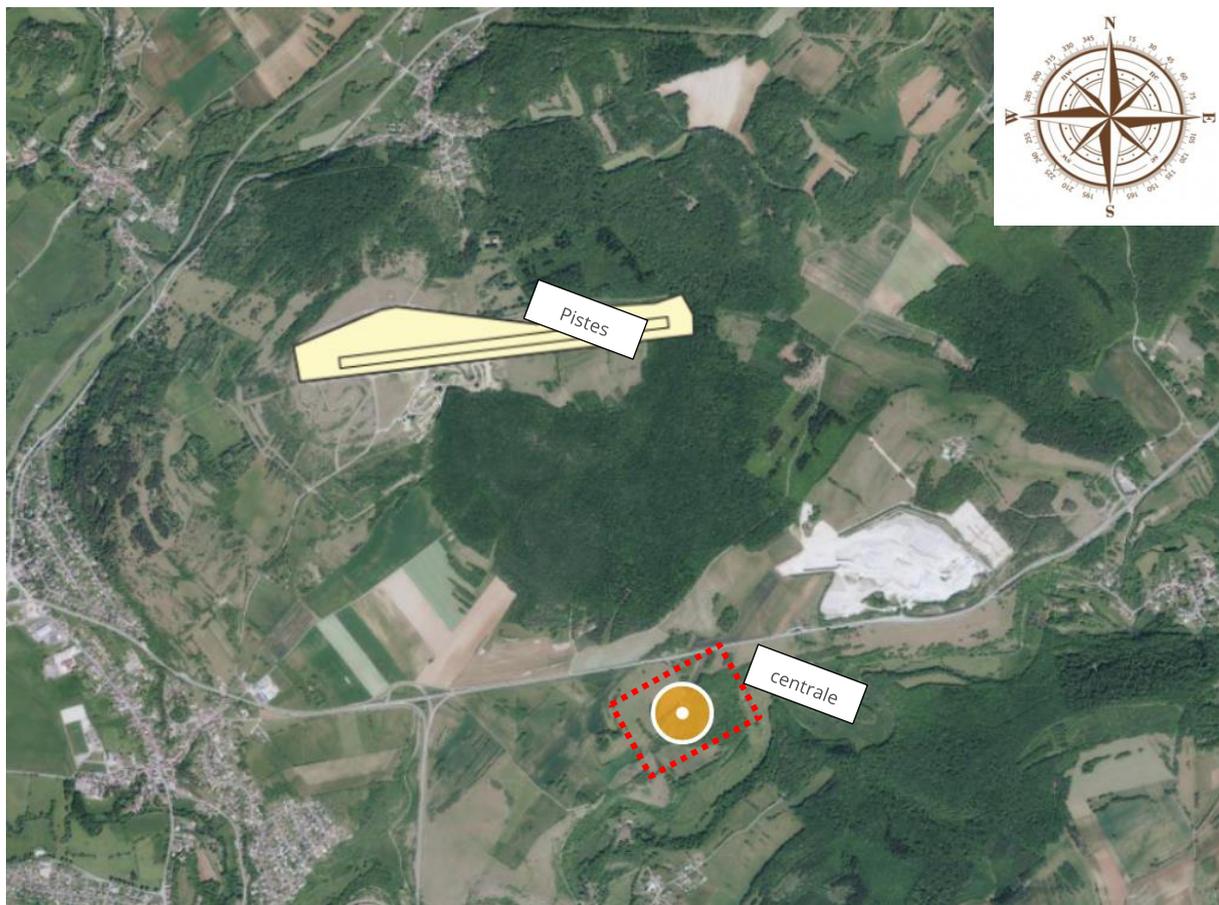


Figure 2 : Localisation des pistes par rapport au projet

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.

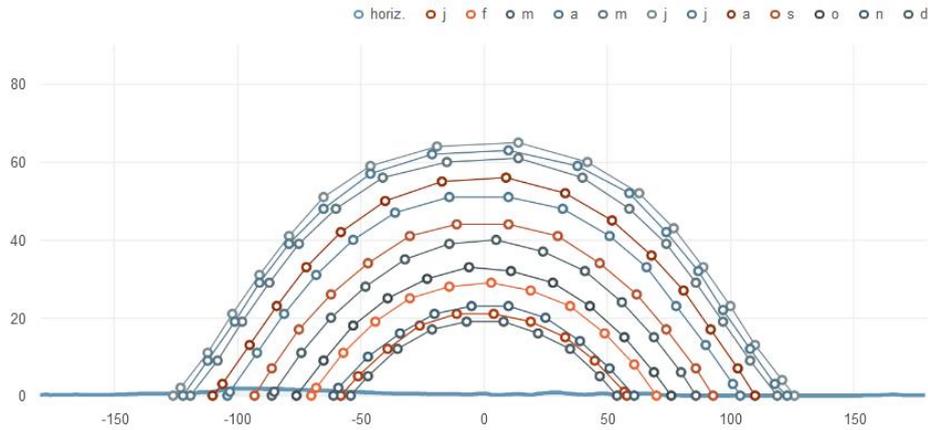


Figure 3 : Masque lointain sur le site

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.

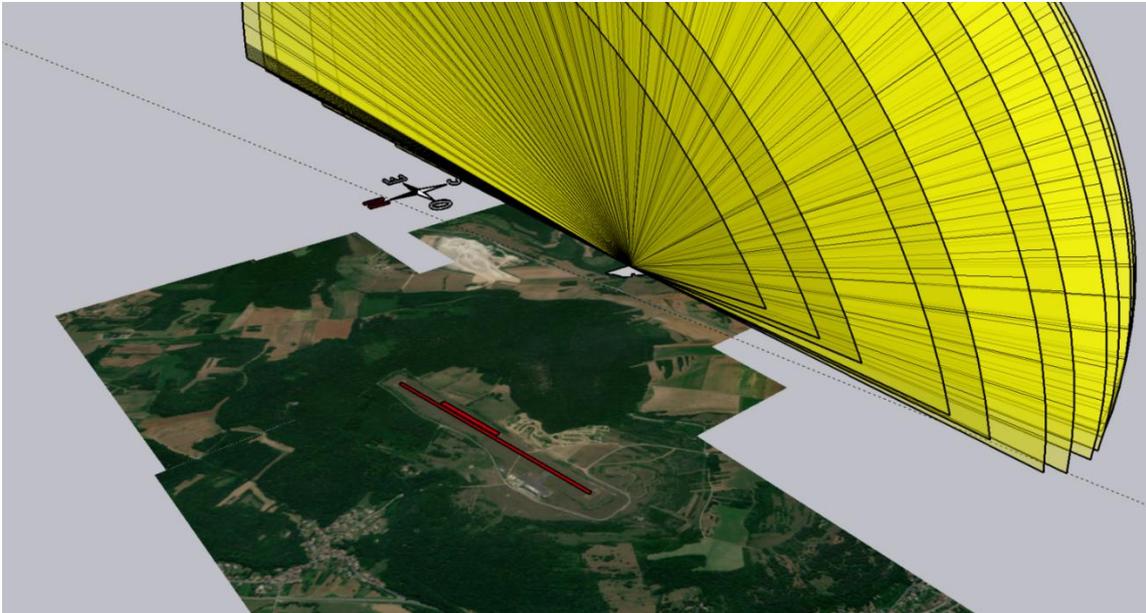


Figure 4 : Représentation 3D des rayons réfléchis sur 12 mois

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.

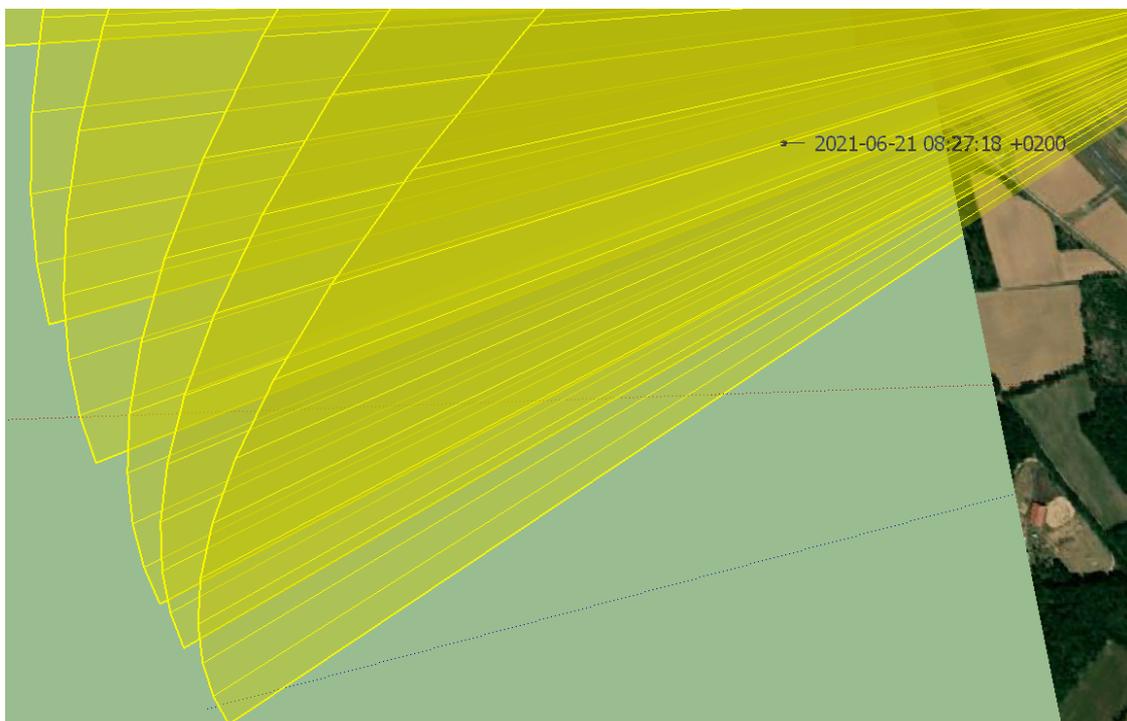


Figure 5 : Accès aux dates et heures de la représentation des rayons réfléchis

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 au sol sur une surface d'environ 35 000 m², elle est composée de 4 994 modules photovoltaïques qui représentent une puissance de 3 MWc .



Figure 6 : implantation des modules

Les modules sont tous implantés selon la même orientation 0° et la même inclinaison 20° .

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 1 km de la piste la plus proche.

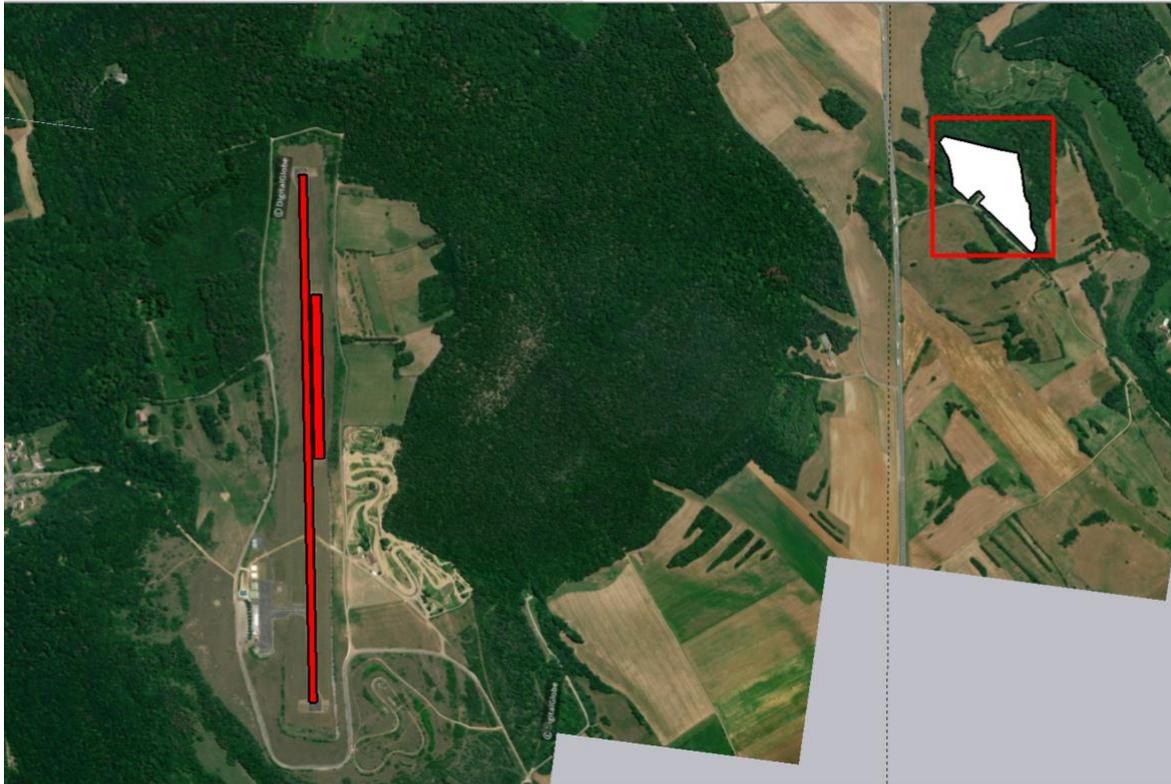


Figure 7 : implantation des modules par rapport aux pistes

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 Vesoul-Frotey dispose de deux pistes, indiquées sur la carte VAC dont un extrait est reproduit en Figure 8 :

- piste : RWY 08-26 avec une approche Sud-Ouest (QFU : 80°) et une approche Nord-Est (QFU : 260°)
- piste : RWY 08R-26L avec une approche Sud-Ouest (QFU : 80°) et une approche Nord-Est (QFU : 260°)

L'aérodrome ne dispose pas de tour de contrôle.

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).

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

• RWY 08-26



Figure 9 : Repérage des Zones A (), B () et C ()-Piste 08-26

• RWY 08R-26L

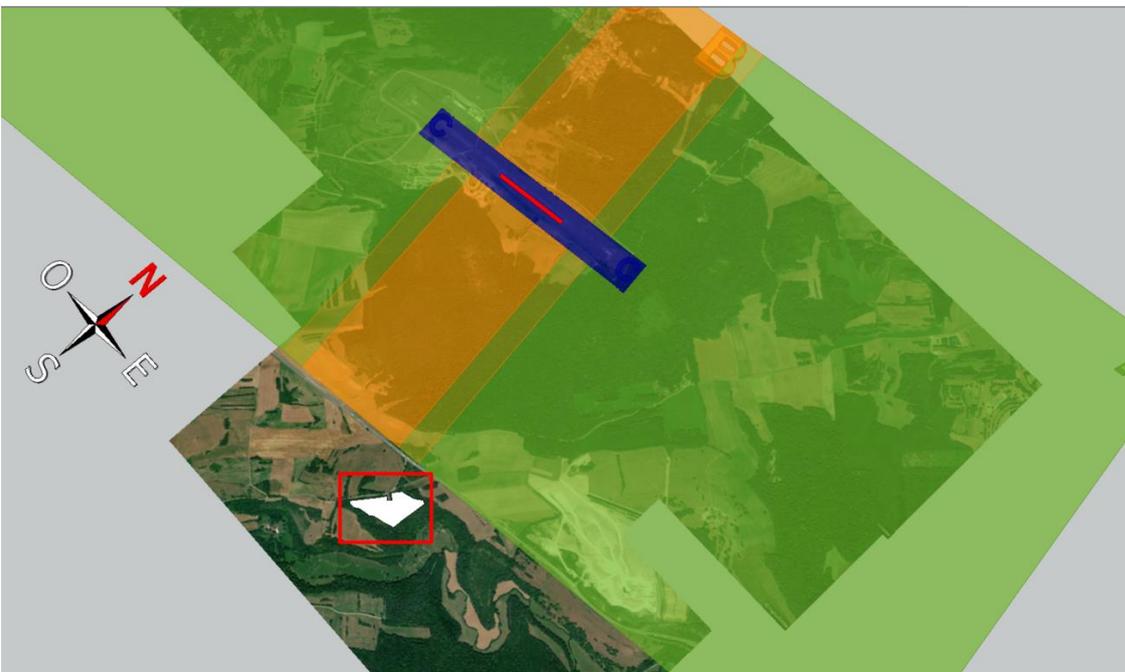


Figure 10 : Repérage des Zones A (), B () et C ()- Piste 08R-26L

Quelles que soient la piste et l'approche considérées, la centrale se situe hors de toute zone A, B ou C. Il n'est donc pas nécessaire de vérifier l'absence de gêne visuelle pour un pilote.

IV. Annexes

IV.1. Carte VAC

ATTERRISSAGE A VUE
Visual landing

Ouvert à la CAP
Public air traffic
20 MAY 21

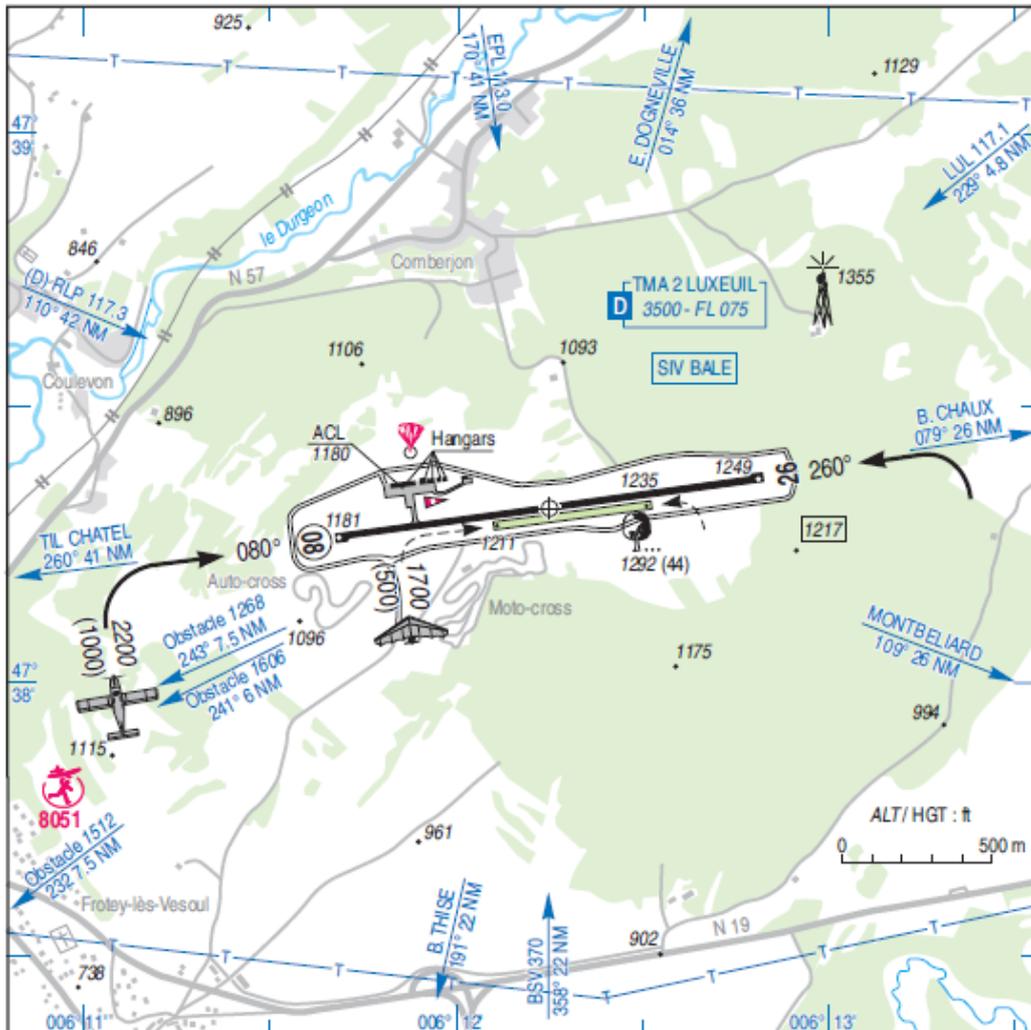
VESOUL FROTEY
AD 2 LFQW ATT 01

	ALT AD : 1249 (45 hPa) LAT : 47 38 19 N LONG : 006 12 15 E	LFQW VAR : 2°E (20)
--	---	-------------------------------

APP : LUXEUIL Approche/Approach 129.925 au-dessus de /above 3500 AMSL

TWR : NIL

A/A : 118.150 FR seulement / only.



RWY	QFU	Dimensions Dimension	Nature Surface	Résistance Strength	TODA	ASDA	LDA
08 26	080 260	1408 x 20	Revêtue Paved	20 F/A/W/T	1408 1408	1408 1408	1408 1408
08R 26L	080 260	435 x 27	Non revêtue Unpaved	-	435 435	435 435	435 435

Aides lumineuses : RWY 08/26 BI (voir TXT 01)
PCL (voir TXT 01)

Lighting aids : RWY 08/26 LIL (see TXT 01)
PCL (see TXT 01)



AMDT 06/21 CHG : VAR, QFU, orientations, obstacles, ACL, normalisation.

© SIA