



Journée technique du STAC
11 juin 2013

VOLTA3,

Évaluation de la luminance des panneaux
photovoltaïques en milieu aéroportuaire

STAC – Aubin LOPEZ, Thomas THIEBAUT

LNE – Jimmy DUBARD



STAC

Direction générale de l'Aviation civile - Service technique de l'Aviation civile

www.stac.aviation-civile.gouv.fr

Contexte et objectif

- La NIT (27/07/2011) et les seuils de luminance

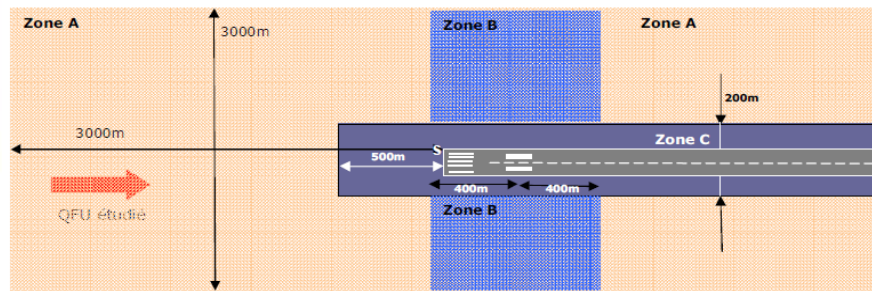


Figure 2 : Représentation des zones A, B et C
(nota : sur ce schéma ne figurent pas les aires interdites par la réglementation - cf § 2 et 3.3.2)

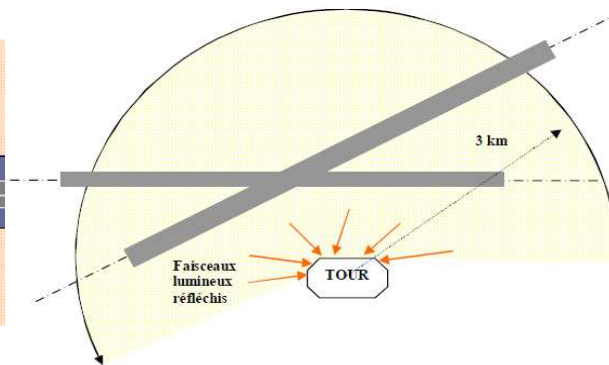
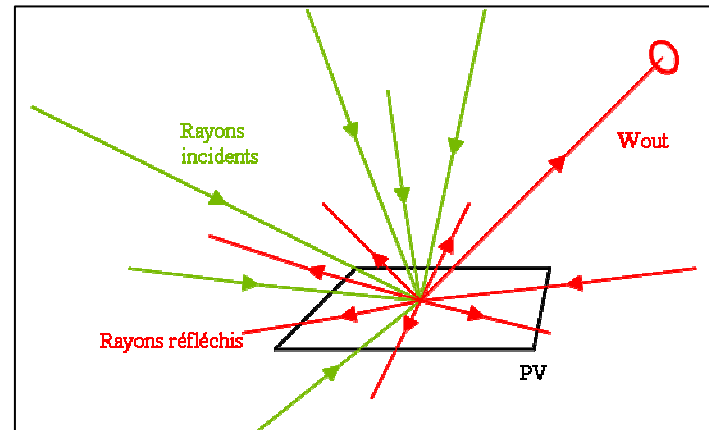


Figure 1 : zone de protection de la tour de contrôle

- L'outil EBLOUIS (2011) : vérification géométrique
- Objectif 2013 : protocole d'évaluation de la luminance réfléchie

Principe de l'étude

- La réflexion sur un matériau



- Expression de la luminance réfléchie

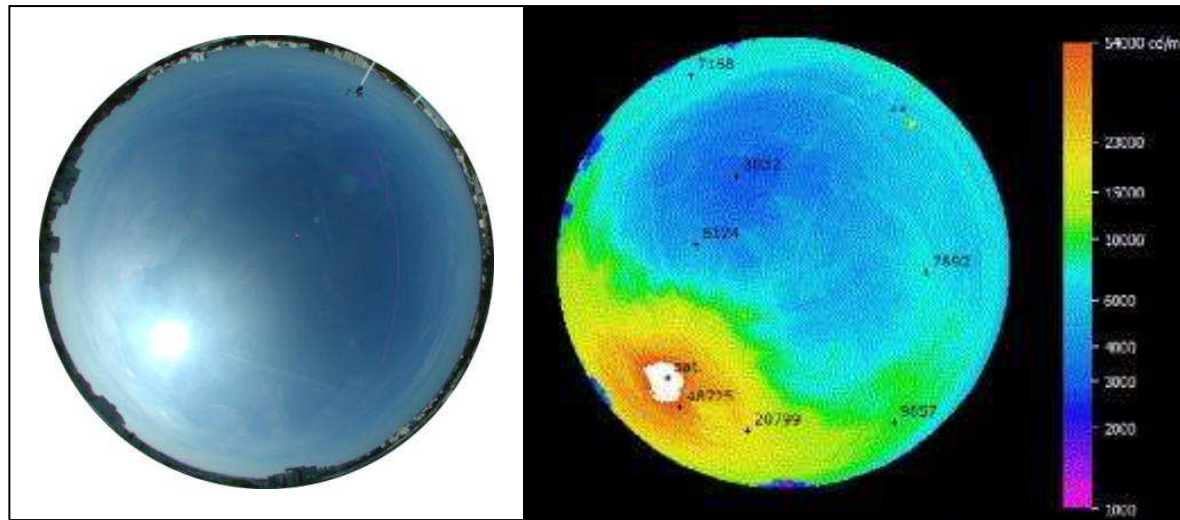
$$L(P_{pv}, \omega_{out}) = \iint L(P_{pv}, \lambda, \omega_{in}) \cdot \rho(P_{pv}, \lambda, \omega_{in}, \omega_{out}) \cdot \cos(\theta_{in}) \cdot d\omega_{in} \cdot d\lambda$$

Luminance de la
source (ciel)

Réflexion du matériau

Modélisation de la source

- La source de lumière éclairant les panneaux



Source : Experimental validation of simulation methods for bi-directional transmission properties at the daylighting performance level, Maamari et al.,
Thèse de M. B. Kobav

- La source considérée est simplifiée

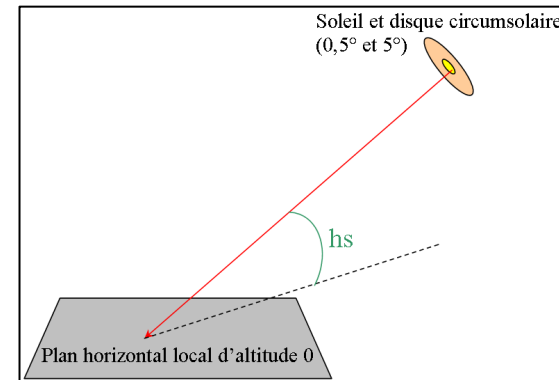


On ne modélise qu'une portion de ciel concentrée autour du soleil

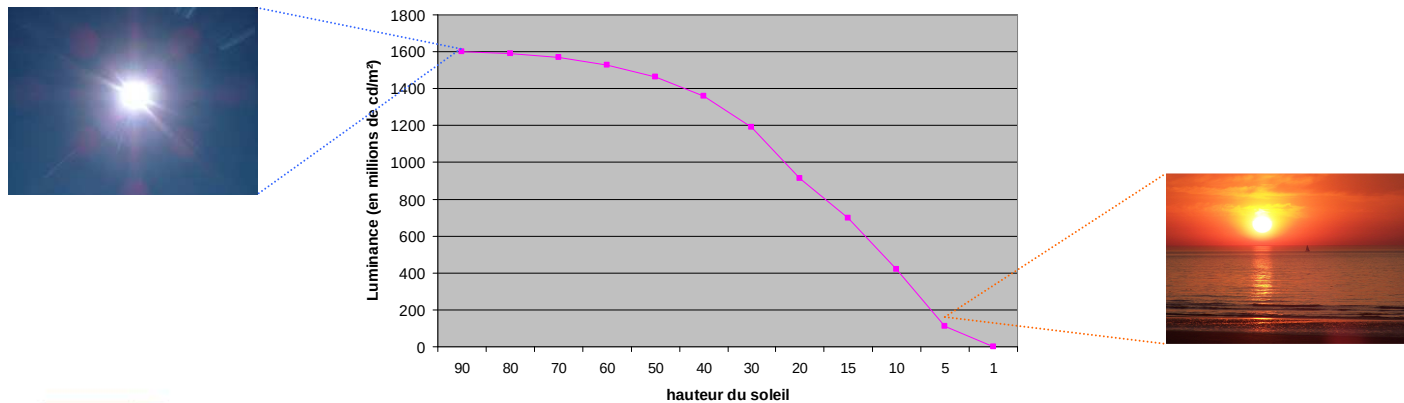


Modélisation de la source

- La source considérée
 - Le disque solaire
 - Une couronne circumsolaire
- Les résultats du modèle :



Luminance du soleil en fonction de sa hauteur



Caractérisation du comportement en réflexion des panneaux

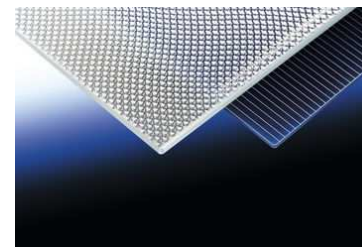
- Des technologies variées...



Source : Bosch Solar Energy

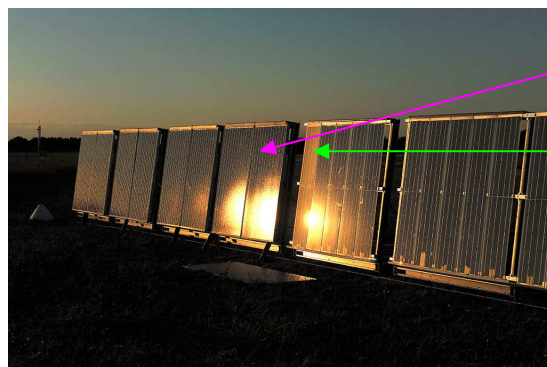


Source : xiangyang-solar.com



Source : Saint-Gobain Solar

- Dont le comportement en réflexion doit être exploré

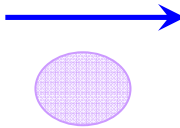


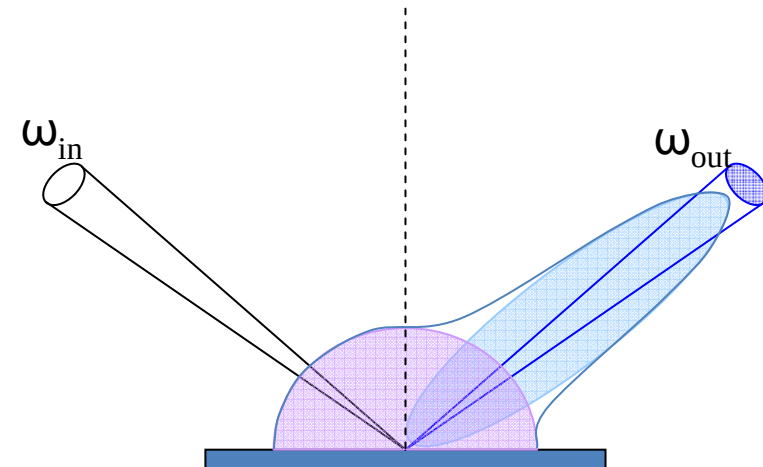
Forte luminance réfléchie

Faible luminance réfléchie

Caractérisation du comportement en réflexion des panneaux

- Qualifier le mode de réflexion

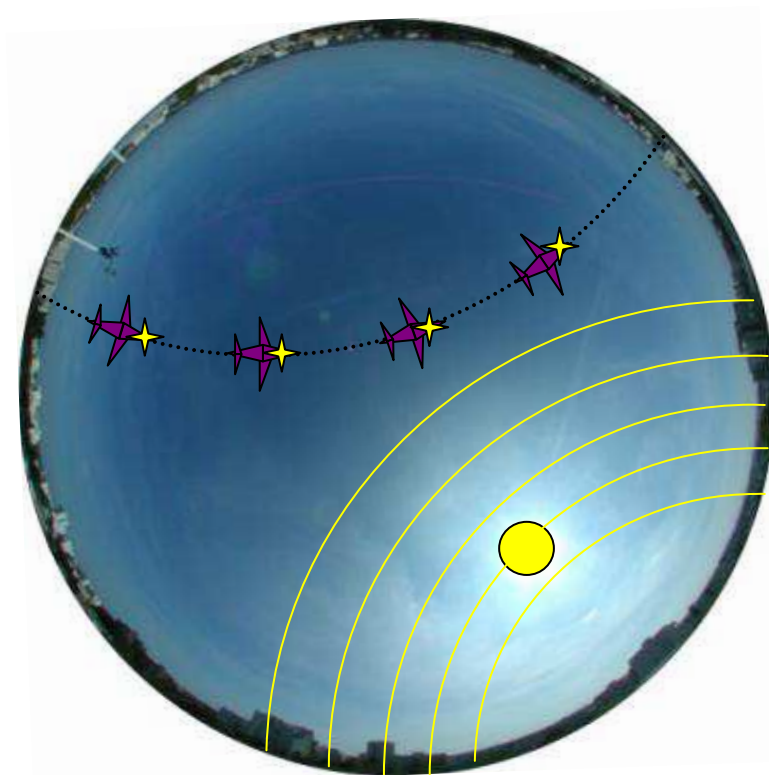
- Spéculaire 
- Diffus
- Complexe



- Mesurer les coefficients de réflexion bidirectionnels pertinents

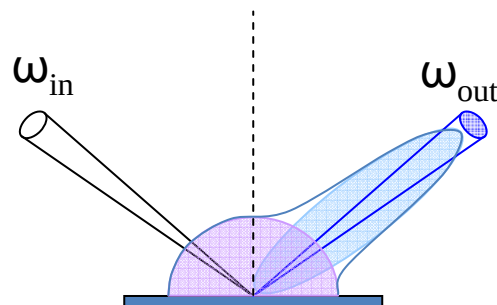
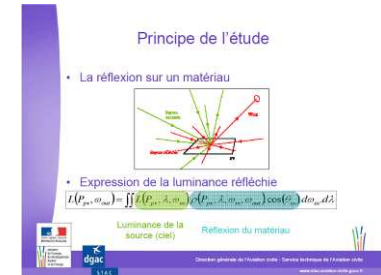
$$L(P_{pv}, \omega_{out}) = \iint L(P_{pv}, \lambda, \omega_{in}) \cdot \rho(P_{pv}, \lambda, \omega_{in}, \omega_{out}) \cdot \cos(\theta_{in}) \cdot d\omega_{in} \cdot d\lambda$$

Ce que doit permettre le protocole



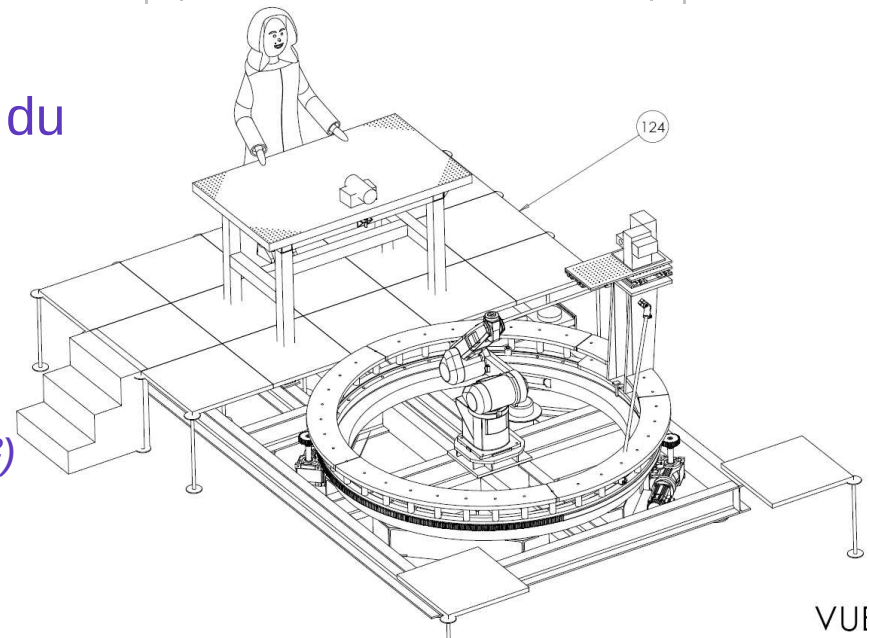
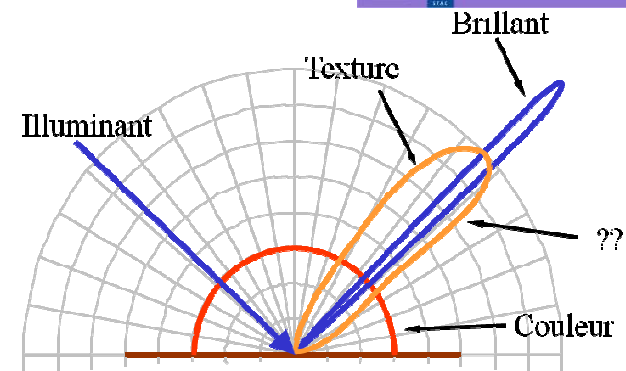
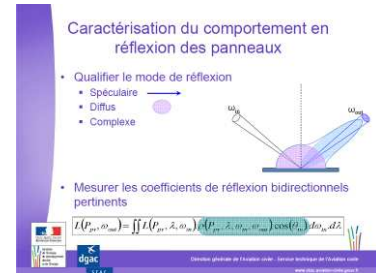
Rappel de la problématique

- Caractérisation de la luminance réfléchie par les modules PV pour évaluer la gêne occasionnée (éblouissement)
 - Prendre en compte les propriétés de réflexion des matériaux constituant les modules de différentes technologies
 - Intégrer les caractéristiques géométriques et spectrales du soleil



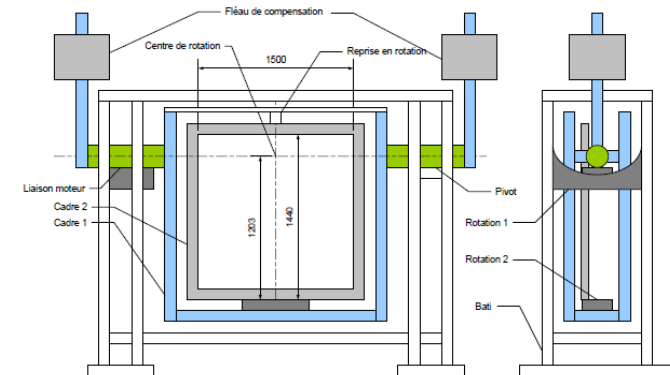
Mesure de BRDF

- **Bi-directional Reflectance Distribution Function** : mesure des propriétés de réflexion des matériaux.
- Banc de BRDF en cours de développement avec une caractérisation haute résolution du pic spéculaire
- Evaluation de la luminance des modules PV limitée à la composante quasi-spéculaire
(luminance du diffuseur parfait: 35000 cdm²)

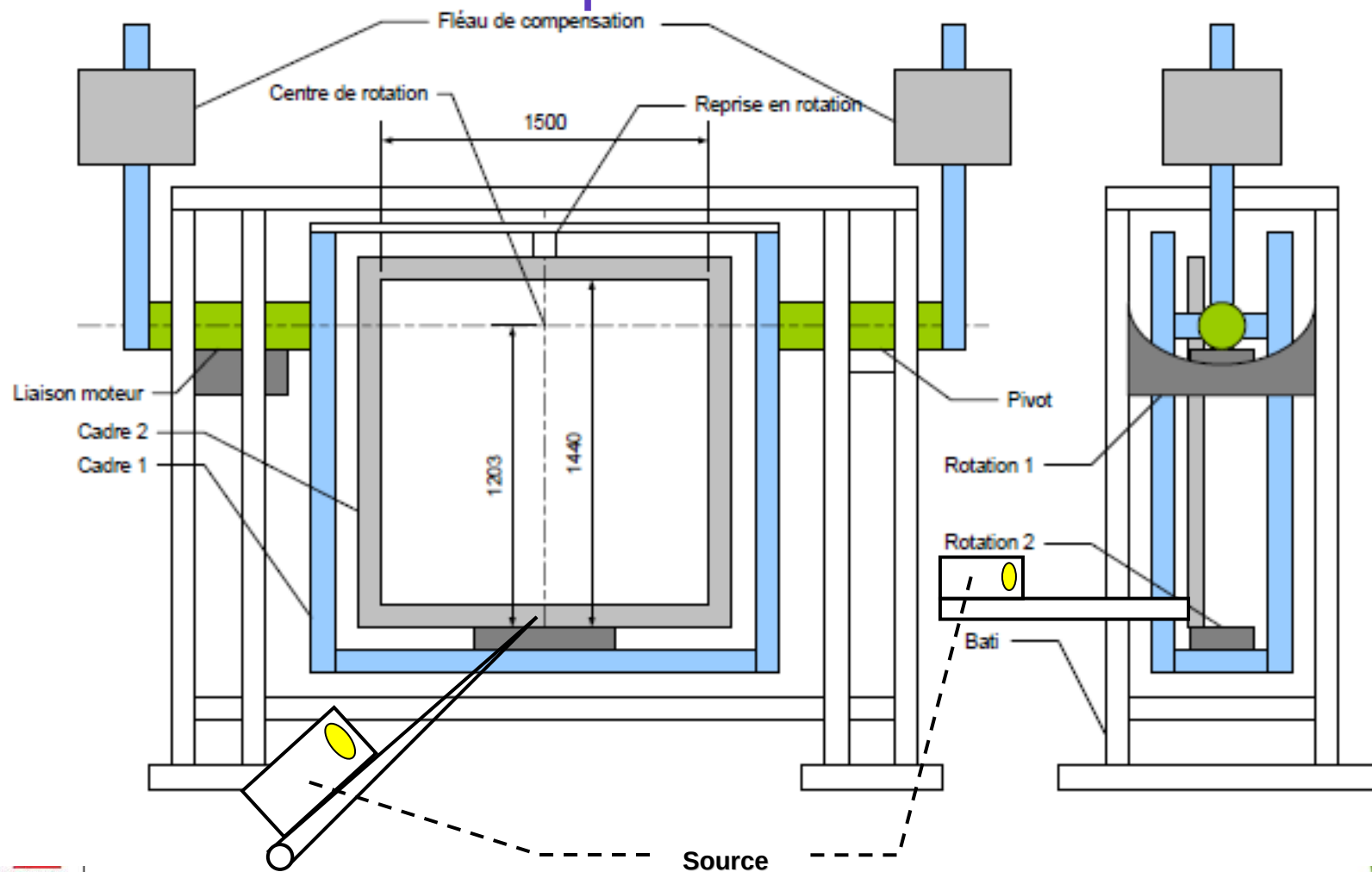


Matériel envisagé : goniomètre

- Adaptation du goniomètre pour la caractérisation des PMV (Panneau à message variable)
- Deux axes de rotation permettant d'orienter l'objet par rapport au détecteur
- Ajout d'un bras support de la source
- Détection: luminancemètre ou spectroradiomètre

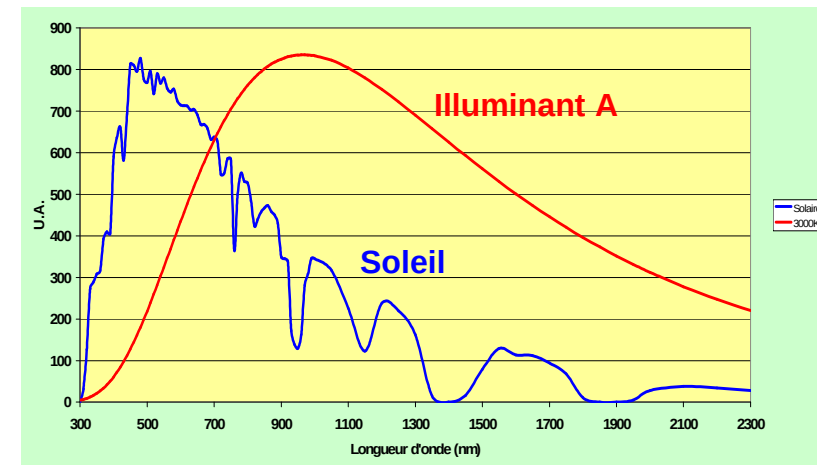
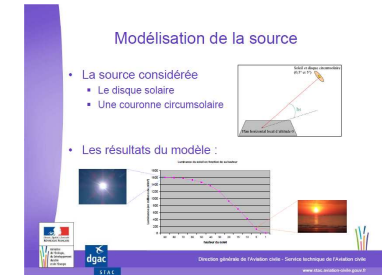


Goniomètre – position de la source



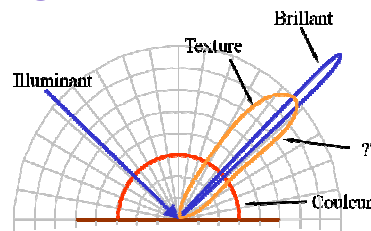
Choix de la source

- Source de luminance uniforme
- Ouverture angulaire: $0,5^\circ$ ou 5° ?
- Spectre solaire
 - Illuminant A + filtre
 - Facteur de réflexion spectral + simulation
- Mise en œuvre d'une source basée sur une sphère intégrante
 - 30000 cdm^2
 - Uniformité 0,2% sur 5 cm de diamètre



Projet de protocole d'essai

- Définition des angles d'illumination (0° à 80°)
- Evaluation visuelle pour définir le champ d'exploration angulaire de la lumière réfléchie (partie détection)
- Mesure du facteur de réflexion ρ
 - En grandeur photométrique (hypothèse: pas d'effet chromatique)
 - En grandeur spectrale
- Modélisation du niveau de luminance réfléchie L_R à partir de la luminance énergétique spectrique du rayonnement solaire L_S

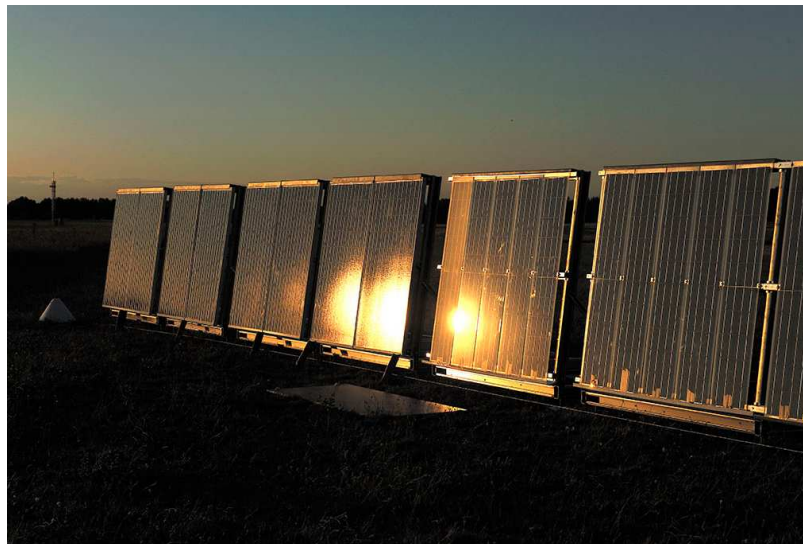


$$L_R = 683 \int_{380}^{780} L_S(\lambda) V(\lambda) \rho(\lambda, \theta_{in}, \theta_{out}) d\lambda$$



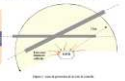
Résultat de la caractérisation

- Evaluation de la gêne occasionnée ($L < 10000 \text{ cdm}^2$)
- Détermination des angles d'observation critiques
- Optimiser l'emplacement pour l'implantation des champs PV



Contexte et objectif

- La NIT (27/07/2011) et les seuils de luminance
- L'outil EBLOUIS (2011) : vérification géométrique
- Objectif 2013 : protocole d'évaluation de la luminance réfléchie



Direction générale de l'Aviation civile - Service technique de l'Aviation civile
www.stac.aviation-civile.gouv.fr



STAC

Merci de votre attention



Aubin Lopez
STAC/ACE/ASA
aubin.lopez@aviation-civile.gouv.fr
01 49 56 82 03

Jimmy Dubard
LNE/DMSI
Jimmy.dubard@lne.fr
01 30 69 12 37