



**MINISTÈRE
CHARGÉ
DES TRANSPORTS**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



direction
générale
de l'Aviation
civile



MISE EN APPLICATION DE LA REV.5 DE LA NIT SUR LES PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES

2 février 2023

Informations préliminaires

Ce webinaire est enregistré.

La présentation sera accessible sur le site du STAC dont l'adresse vous sera communiquée ultérieurement

Vous pouvez poser des questions sur Slido à l'adresse suivante :

<https://app.sli.do/event/u2gQPMyK9hdwFbRm6iBMda>

Plan de la présentation



1. Philosophie générale

1.Philosophie générale

Volonté politique : favoriser le développement des énergies renouvelables avec souhait de simplification administrative → Projet de loi relatif à l'accélération de la production d'énergies renouvelables : multiplier par dix la production d'énergie solaire pour dépasser les 100 gigawatts (GW)

Benchmarking des autorités nationales : la FAA et l'ENAC italienne ont mis en place un système déclaratif avec responsabilisation des porteurs de projet.

Nous n'avons pas identifié d'incidents/accidents aériens dus à la présence des panneaux photovoltaïques aux abords des aérodomes

1.Philosophie générale

Un type ou modèle d'argumentation n'est pas imposé

Le principe général pour l'Aviation civile est de faire confiance à l'argumentation développée par les porteurs de projets.

Responsabilisation des porteurs de projet ou de l'exploitant des installations (engagement sur l'absence d'éblouissement d'incapacité + éventuelles actions correctives après installation)

2. Principales modifications de la NIT

2.1 Justifications de la modification de la NIT

2.2 Principales modifications apportées par la rév.5 de la NIT

2.1 Justifications de la modification de la NIT

- 1) Rappel : la NIT rév. 5 a été publiée le 10 novembre 2022 et remplace la NIT rév.4 de juillet 2011.
- 2) Les seuils de luminance (10000 et 20000 cd/m²) fixés par la rév.4 s'avéraient très bas et contraignants pour les porteurs de projet (exemple : LED > 30 000 000 cd/m²) → suppression de ces seuils dans la rév. 5
- 3) La luminance seule des PPV n'est pas un critère adapté (Lf, surface apparente, distance, âge de l'observateur...). Il est préférable d'utiliser un diagramme ou indice d'éblouissement de l'œil en environnement extérieur. Des études complémentaires vont être lancées au niveau français (marché en cours de rédaction)
- 4) Eblouissement d'inconfort : phénomène psychologique, sensation de gêne.
- 5) Eblouissement d'incapacité : phénomène physiologique qui correspond à une baisse des performances visuelles (i.e. réduction des contrastes) engendrée par une diffusion importante de la lumière dans l'oeil

2.2 Principales modifications apportées par la rév.5 de la NIT

Objectifs
conformité

```
graph LR; A[Objectifs conformité] --> B[1. Non-perturbation des équipements de NA et de MTO  
Respect des servitudes radioélectriques]; A --> C[2. Non-création d'obstacle dangereux pour la  
circulation aérienne]; A --> D[3. Pas d'impact sur les conditions d'exploitation et  
d'homologation de l'aérodrome : SSLIA, maintenance  
équipements NA, MTO, Radio, Balisage, circulation au  
sol des aéronefs, alimentation électrique...];
```

1. Non-perturbation des équipements de NA et de MTO
Respect des servitudes radioélectriques

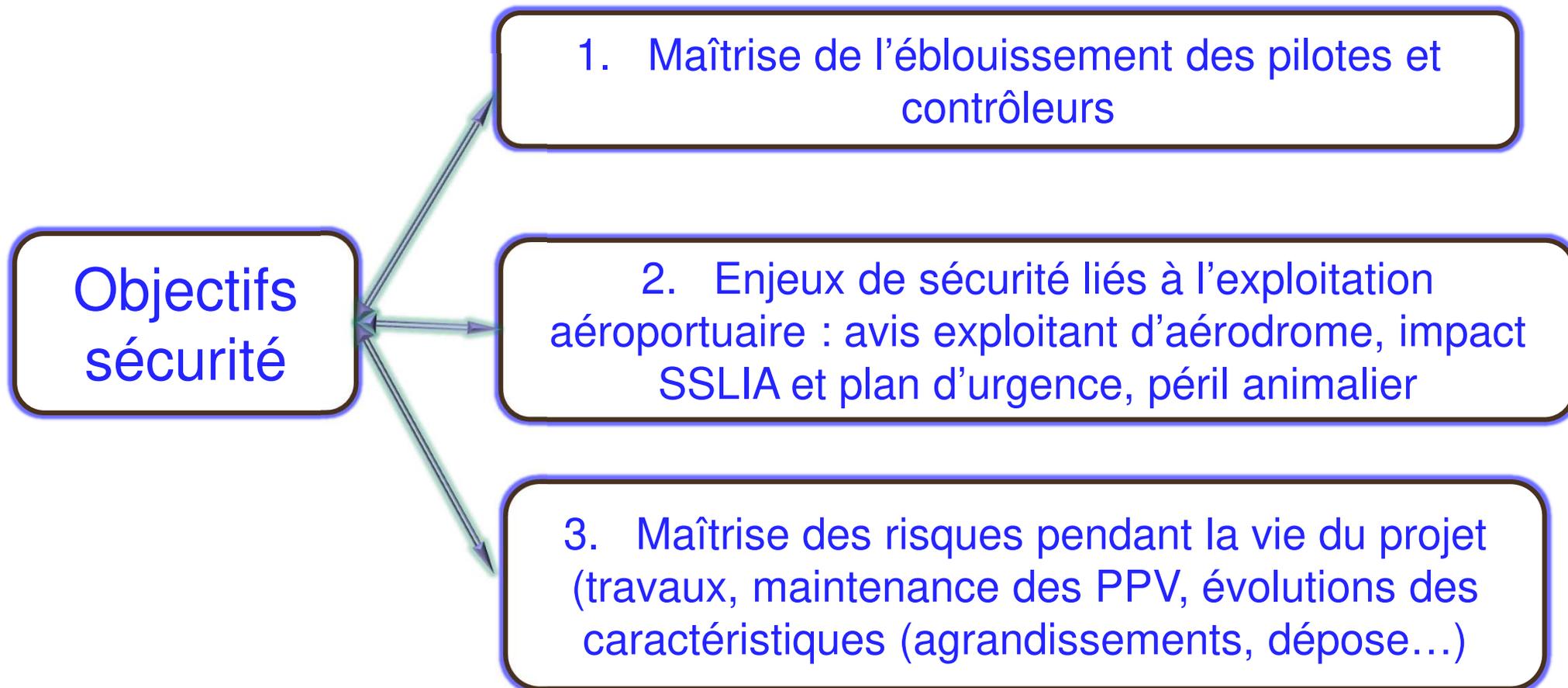
2. Non-création d'obstacle dangereux pour la
circulation aérienne

3. Pas d'impact sur les conditions d'exploitation et
d'homologation de l'aérodrome : SSLIA, maintenance
équipements NA, MTO, Radio, Balisage, circulation au
sol des aéronefs, alimentation électrique...

2.2 Principales modifications apportées par la rév.5 de la NIT

OBJECTIF CONFORMITE 1 : Non-perturbation notamment des émissions VHF entre pilotes et contrôleurs : un contrôle sera effectué par la DGAC pour s'assurer que ces communications ne sont pas perturbées. Le cas échéant, des modifications du projet peuvent être demandées

2.2 Principales modifications apportées par la rév.5 de la NIT



2.2 Principales modifications apportées par la rév.5 de la NIT

- 1) Acceptation d'un éblouissement d'inconfort et argumentation d'absence d'éblouissement d'incapacité vis-à-vis des contrôleurs aériens et des pilotes → éblouissement d'incapacité non accepté
- 2) Suppression des zones A et B mais maintien d'une zone C
- 3) Regroupement des différentes procédures hélicoptères (dégagée, ponctuelle et à trouée unique)

2.2 Principales modifications de la NIT (Suite)

4) Guichet unique SNIA pour les dossiers de demande:

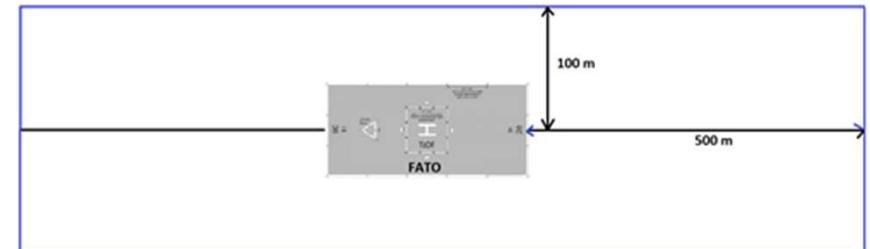
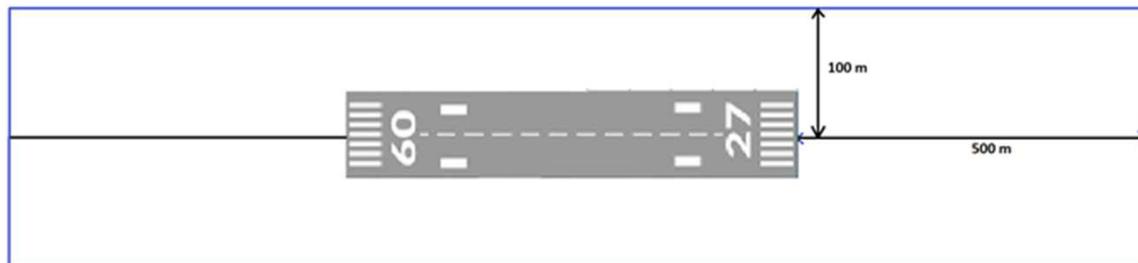
<https://guichet-unique-obstacles.aviation-civile.gouv.fr/>

5) Aérodomes certifiés (UE) : consultation relative à l'impact sur la sécurité et analyse de risques à mener par l'exploitant aéroportuaire ou le porteur de projet

2.2 Principales modifications de la NIT (Suite)

6) Cas nécessitant une argumentation d'absence d'éblouissement d'incapacité : champs de PPV dont la surface :

- est supérieure ou égale à 500 m² et situés à l'extérieur des zones définies au § 4.3.4.3.1 (piste et FATO) et à l'intérieur des zones définies au § 4.3.4.3.2 (zones voisines de la piste/FATO et de la CTL TWR)
- est inférieure à 500 m² et situés à l'intérieur des zones définies au § 4.3.4.3.1 (piste et FATO)



4.3.4.3.1 (piste et FATO)

2.2 Principales modifications de la NIT (Suite)

7) Engagement signé inutile :

- pour les projets ne nécessitant pas d'argumentation : < 500 m² situés dans les limites fixées au § 4.3.4.3.2 (zones voisines de la piste/FATO et de la CTL TWR)
- Pour les projets situés au-delà de ces limites

2.2 Principales modifications de la NIT (Suite)



Circuit standard de validation du projet

2.2 Principales modifications de la NIT (Suite)

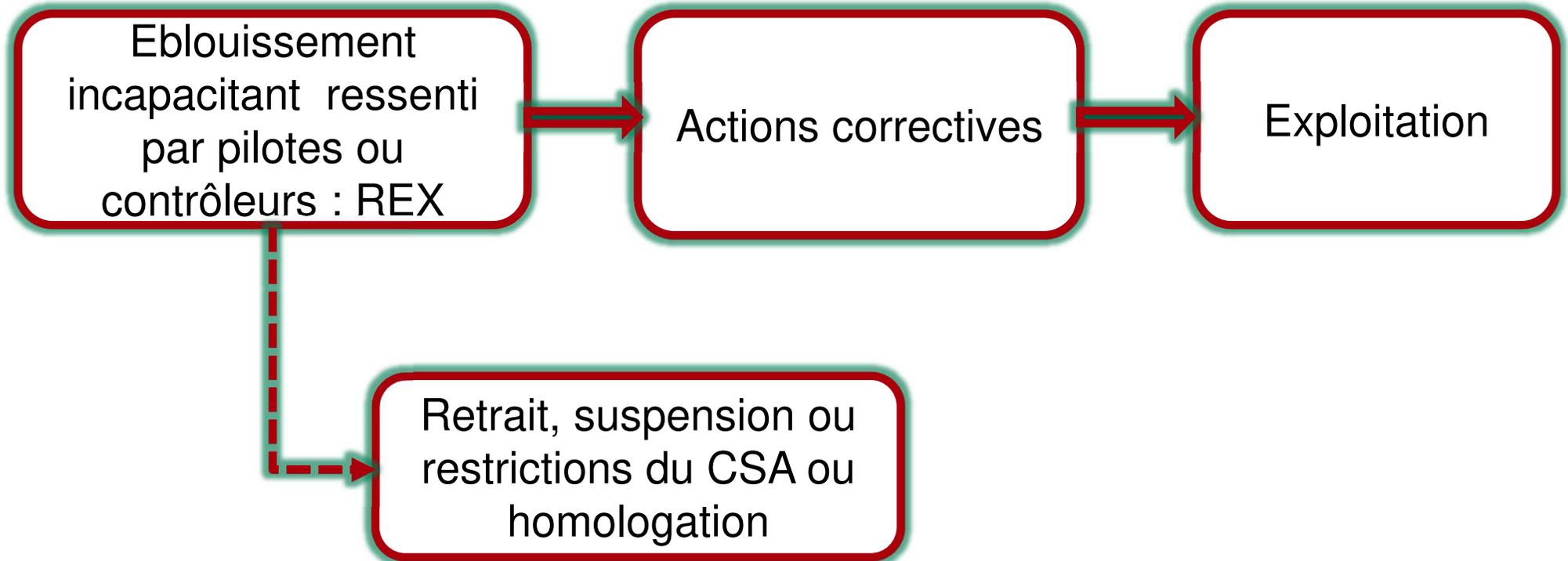


Eblouissement au niveau de la tour de contrôle de Boston en matinée en 2014



Aéroport de Manchester-Boston (USA) : couverture nécessaire des PPV à certaines heures de la journée. Rotation de 90° vers l'Est des PPV concernés pour corriger l'éblouissement

2.2 Principales modifications de la NIT (Suite)



Eventuelles actions correctives en exploitation

3. Possibilités d'argumentation

3.1 Généralités

3.2 Dires et points de vue d'experts

3.3 Éléments d'évaluation pratique

3.4 Accessoires et équipements complémentaires

3.5 Éléments de modèle théorique

3.1 : Généralités

Notre but n'est pas de lister de manière exhaustive les moyens acceptables de conformité à la NIT.

Nous ne sommes pas spécialistes en matière d'éblouissement. Un marché avec définition d'un cahier des charges spécifique va être lancé prochainement. Les résultats de l'étude seront disponibles normalement à l'été 2024.

Il est envisageable d'utiliser une même argumentation pour différents sites d'implantation de PPV

D'un point de vue argumentation sur l'éblouissement, les dossiers conformes à la NIT rév.4 sont acceptables.

3.1 : Généralités

Afin d'établir l'argumentation, il peut être fait appel à :

- des dires ou points de vue d'experts ;
- des éléments d'évaluation pratique ;
- des éléments de modèle théorique ;
- des accessoires et équipements complémentaires ;
- une combinaison des points précédents.

3.2 Dires et points de vue d'experts

Il s'agit d'une argumentation plutôt qualitative.

Il n'a pas été trouvé d'incidents/accidents aériens dus à l'éblouissement des PPV

Les pilotes ont l'habitude de survoler des étendues d'eau, peuvent être éblouis par des bâtiments, des parkings couverts ...

La phase d'approche d'un avion étant dynamique, l'éblouissement est momentané.

Effet de surprise atténué grâce à l'information aéronautique

3.2 Dires et points de vue d'experts

Les REX/comptes-rendus de pilotes sur l'éblouissement dû à des PPV sont rares.

Exemple : en mai 2016, un pilote d'aviation légère a rapporté une « interférence » avec des PPV à Cadiz (Espagne) lors de l'approche avec un Piper PA-28 → sans impact sur la sécurité

Même si la FAA exclut les pilotes de l'argumentation, il a été décidé de garder les pilotes au niveau français pour le moment.

ATC : éblouissements rapportés pour des installations PPV situées entre la tour et les pistes.

Argumentation pouvant être basée sur le REX suite à de nombreuses installations PPV.

3.2 Dires et points de vue d'expert

Le pourcentage de lumière réfléchié par les PPV est faible en comparaison d'autres surfaces

Surface	Approximate Percentage of Light Reflected ³⁵
Snow	80
White Concrete	77
Bare Aluminium	74
Vegetation	50
Bare Soil	30
Wood Shingle	17
Water	5
Solar Panels	5
Black Asphalt	2

Relative reflectivity of various surfaces

3.2 Dires et points de vue d'expert

Les vitres des tours de contrôle ou les fenêtres des cockpits peuvent être équipés d'une couche anti-éblouissement.

Possibilité de prendre en compte le résultat d'échanges avec les pilotes, contrôleurs aériens et responsables aéroportuaires du terrain concerné.

Prise en compte des heures d'exploitation de l'aérodrome vs périodes d'éblouissement possibles.

3.3 Éléments d'évaluation pratique : expérimentation

Expérimentation en concertation avec l'ATC et certains pilotes avec un échantillon de PPV sur le site implantation prévu.



Figure 1 : Localisation du projet de centrale

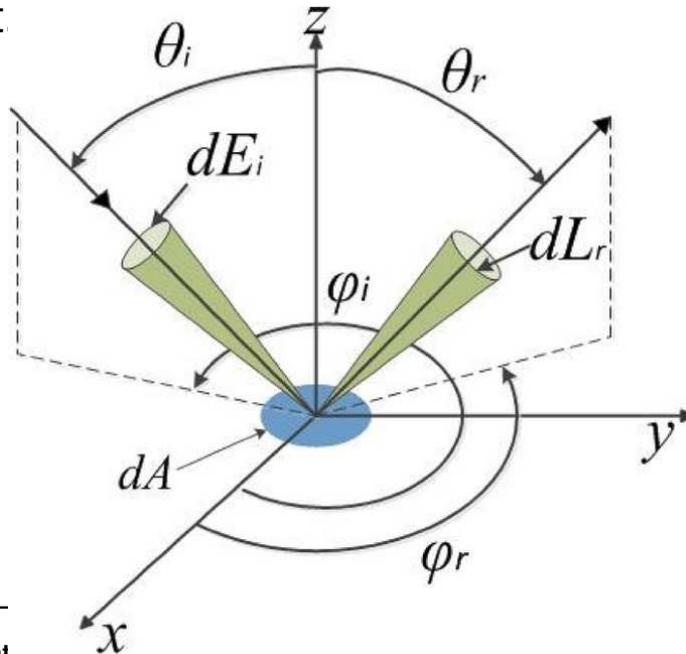


3.3 Éléments d'évaluation pratique : Comparaison des BRDF des surfaces de différents types de PPV (suite)

BRDF : bidirectional reflectance distribution function : fonction de distribution bi-directionnelle du coefficient de réflexion

La fonction BRDF est le quotient de la luminance énergétique (L_r) de l'élément de surface dans la direction donnée (θ_r, φ_r) par l'éclairement (E_i) provenant d'une direction définie (θ_i, φ_i). C'est une grandeur radiométrique définie pour une longueur d'onde donnée (λ).

Elle décrit l'amplitude et la distribution du rayonnement réfléchi en fonction de la direction et de l'intensité du rayon incident



$$f_r(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r; \lambda) = \frac{dL_r(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r; \lambda)}{dE_i(\theta_i, \varphi_i; \lambda)}$$

Variation d'angle d'incidence.
Plusieurs modèles mathématiques peuvent être utilisés pour calculer la BRDF (Cook-Torrance; He-Torrance)

3.3 Éléments d'évaluation pratique : Comparaison des BRDF des surfaces de différents types de PPV

Possibilité de mesure au moyen d'un banc goniométrique : gonioréfectomètre, constitué de trois éléments : une source lumineuse, un support d'échantillon et un récepteur. La BRDF caractérise intégralement la réflexion lumineuse à la surface d'un matériau. En cela, elle permet de connaître en détail le signal qui entre dans l'œil.

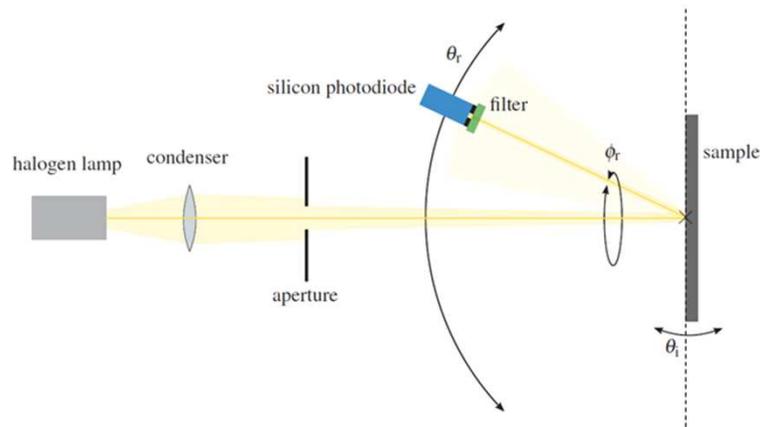


FIGURE 1. Schematic setup of the used photo-goniometer: light emitted by a halogen lamp is concentrated onto the measured sample. The sample can be rotated to obtain different incidence angles θ_i . The silicon photodiode detector with polar and azimuthal viewing angles θ_r and ϕ_r moves across the whole hemisphere to capture the reflected and filtered radiation.

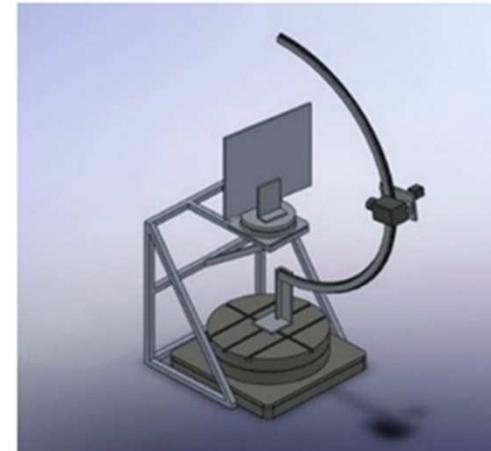


Figure 6. The three-dimensional schematic diagram of the frame structure.

3.3 Éléments d'évaluation pratique : Comparaison des BRDF des surfaces de différents types de PPV (suite)

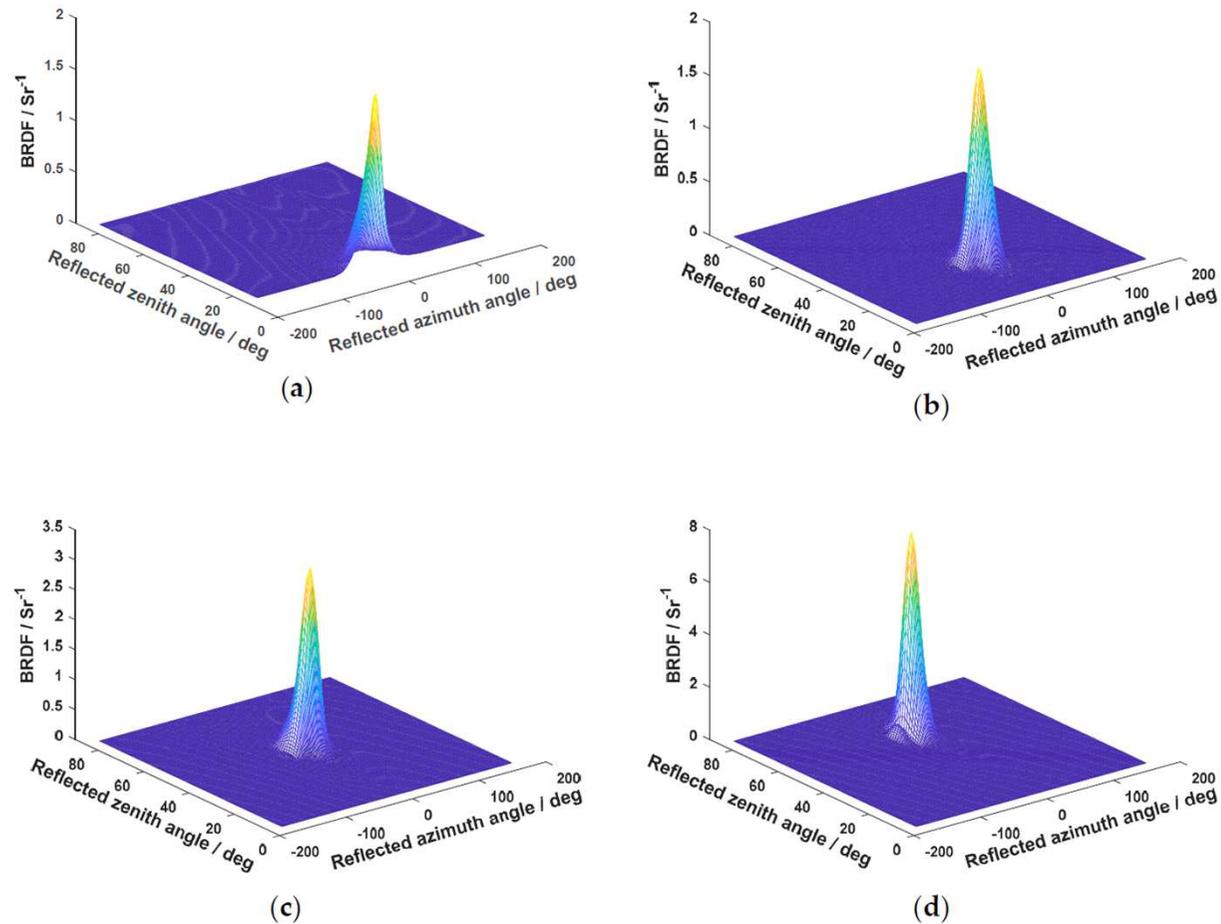


Figure 11. BRDF distribution of solar panel. (a) $\theta_i = 15^\circ$; (b) $\theta_i = 30^\circ$; (c) $\theta_i = 45^\circ$; (d) $\theta_i = 60^\circ$.

3.4 Accessoires et équipements complémentaires

3.4.1 Système d'auto-tracking du soleil

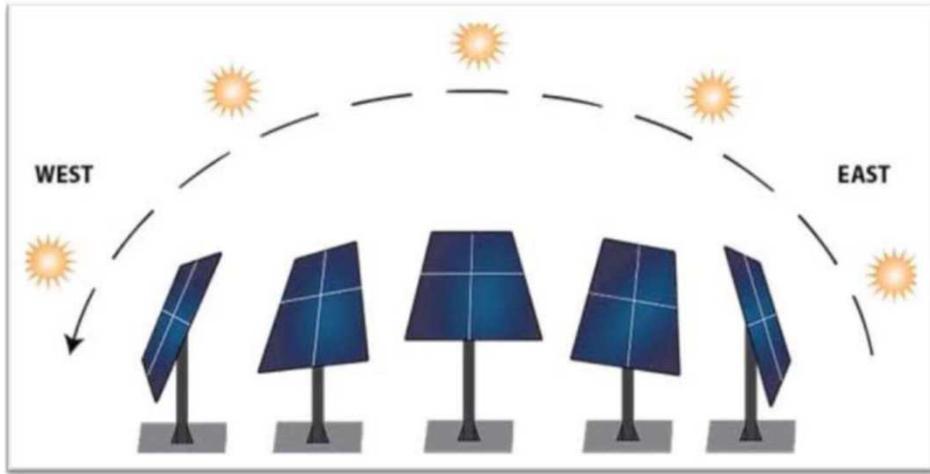
3.4.2 Système de back-tracking

3.4.3 Utilisation de verres texturés, faible luminance ou de films anti-éblouissement

Certains de ces équipements peuvent être paramétrés dans les logiciels de simulations

3.4.1 Systèmes de tracking

Single-axis tracking



Systèmes permettant d'augmenter l'efficacité énergétique des PPV par rapport à des installations fixes.

Minimisation de l'angle d'incidence des rayons solaires

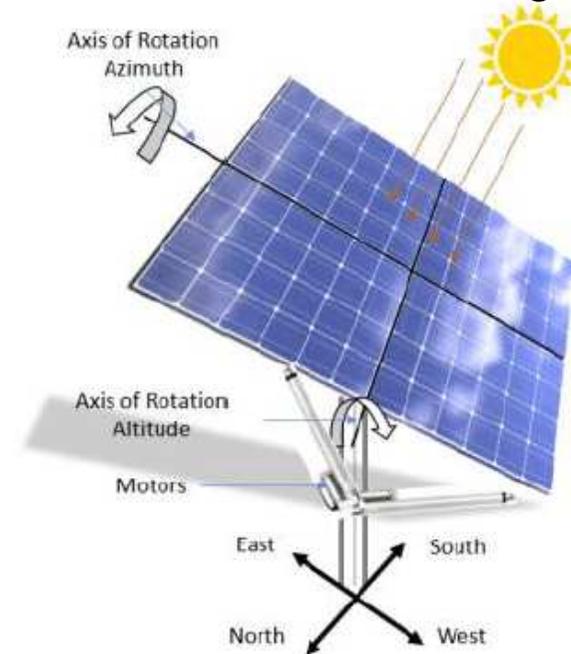
Bon compromis entre éblouissement et génération électrique.

L'éblouissement diminue quand le tilt (angle en site) des PPV augmente.

Le dual-axis tracking apporte plus d'éblouissement que le single-axis tracking mais est plus efficace énergétiquement.

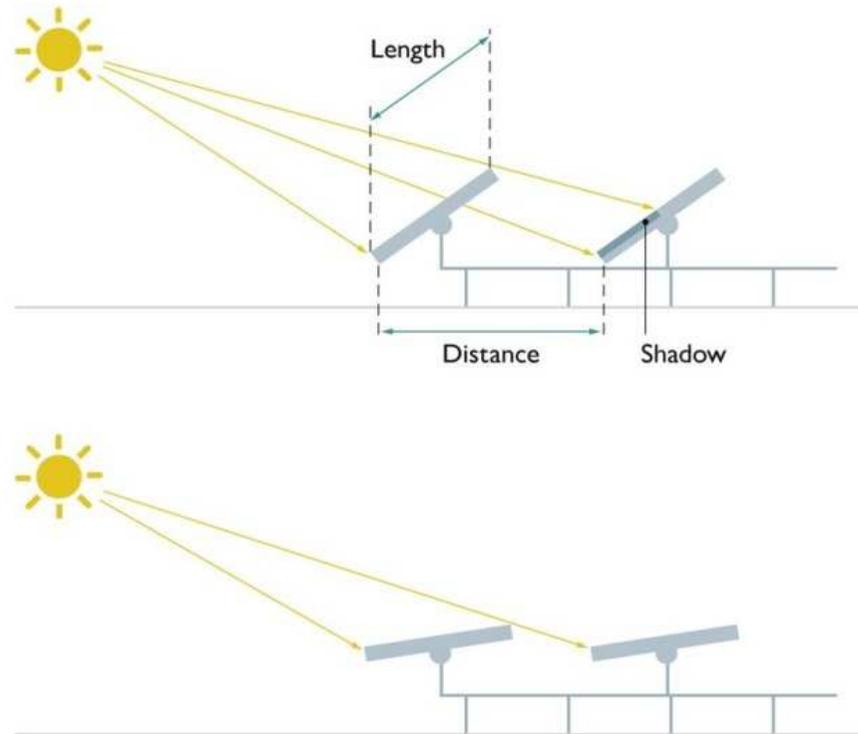
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666790821001968#bib20>

Dual-axis tracking



3.4.2 Backtracking

Les algorithmes de backtracking sont conçus pour capter le maximum d'énergie en début de matinée et en fin d'après-midi, lorsque les panneaux sont le plus susceptibles de se faire de l'ombre.

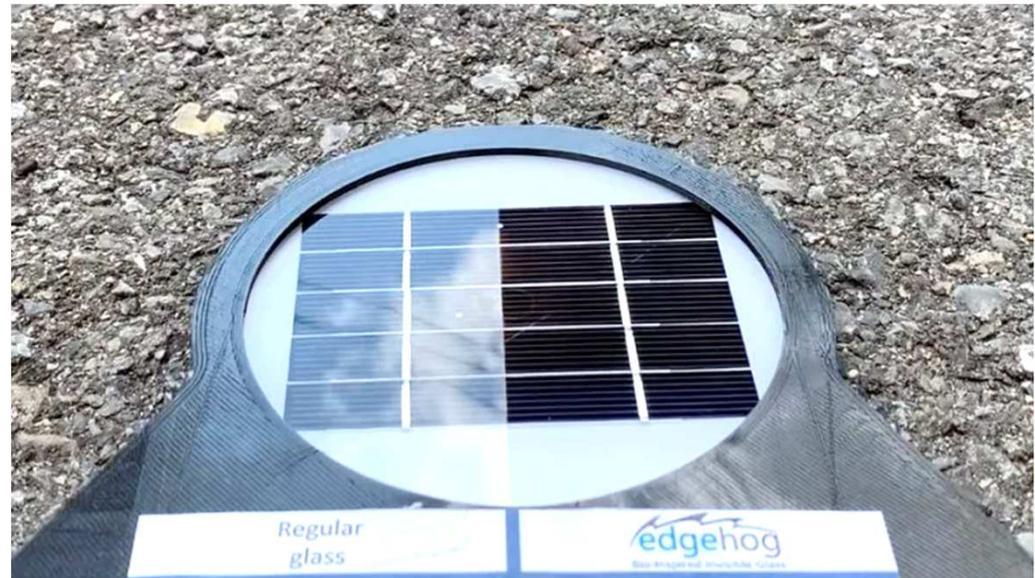


3.4.3 Film anti-éblouissement ou traitement anti-reflet du verre

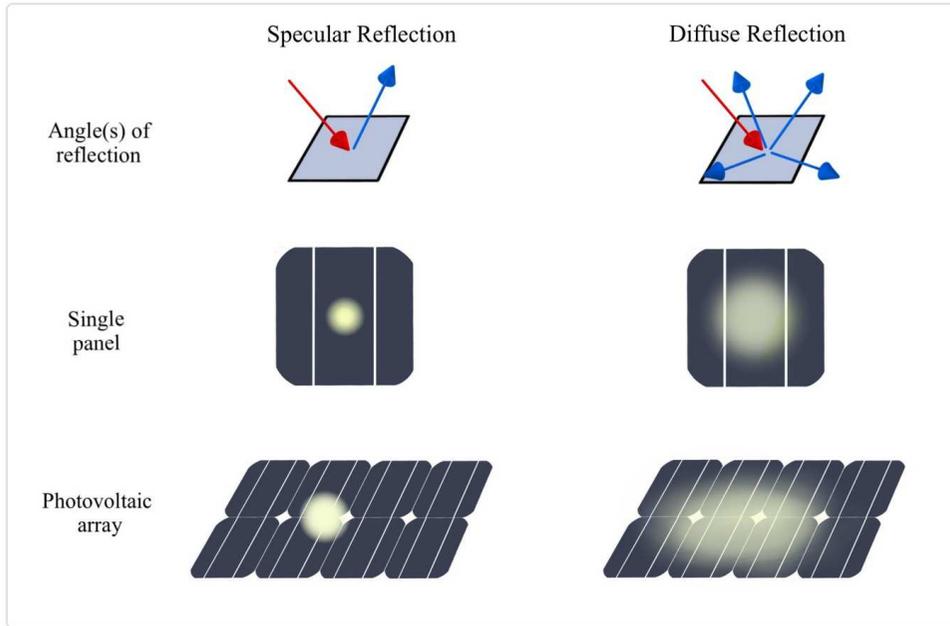
Film anti-éblouissement (caractéristiques à contrôler régulièrement)

Avantage du traitement anti-reflet (Anti Reflection Coating): augmentation de l'efficacité ou du rendement du PPV, réflexion diffuse, réduction de la luminance et de l'éblouissement

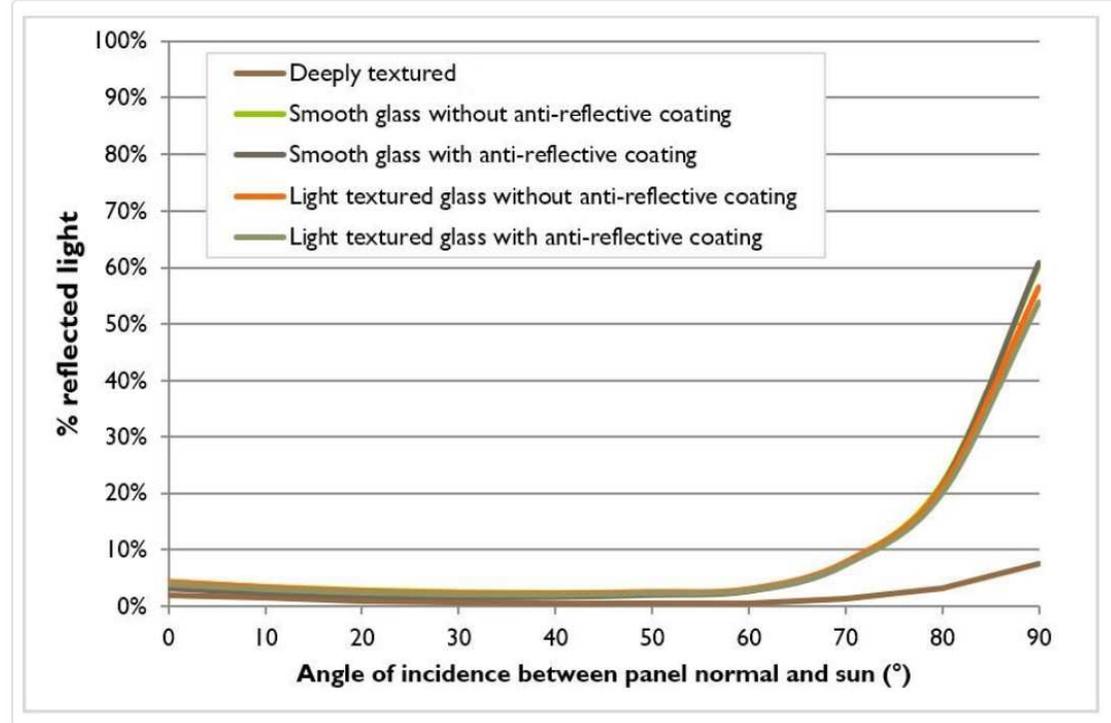
L'installation de ce revêtement n'est pas forcément nécessaire s'il est prouvé qu'il n'y a pas d'éblouissement d'incapacité des contrôleurs et pilotes



3.4.3 Film anti-éblouissement ou traitement anti-reflet du verre



Specular and diffuse reflections on PV



Reflectance profiles of typical PV module materials (Yellowhair, 2015).

3.5 Éléments de modèle théorique

Il s'agit de l'argumentation la plus technique.

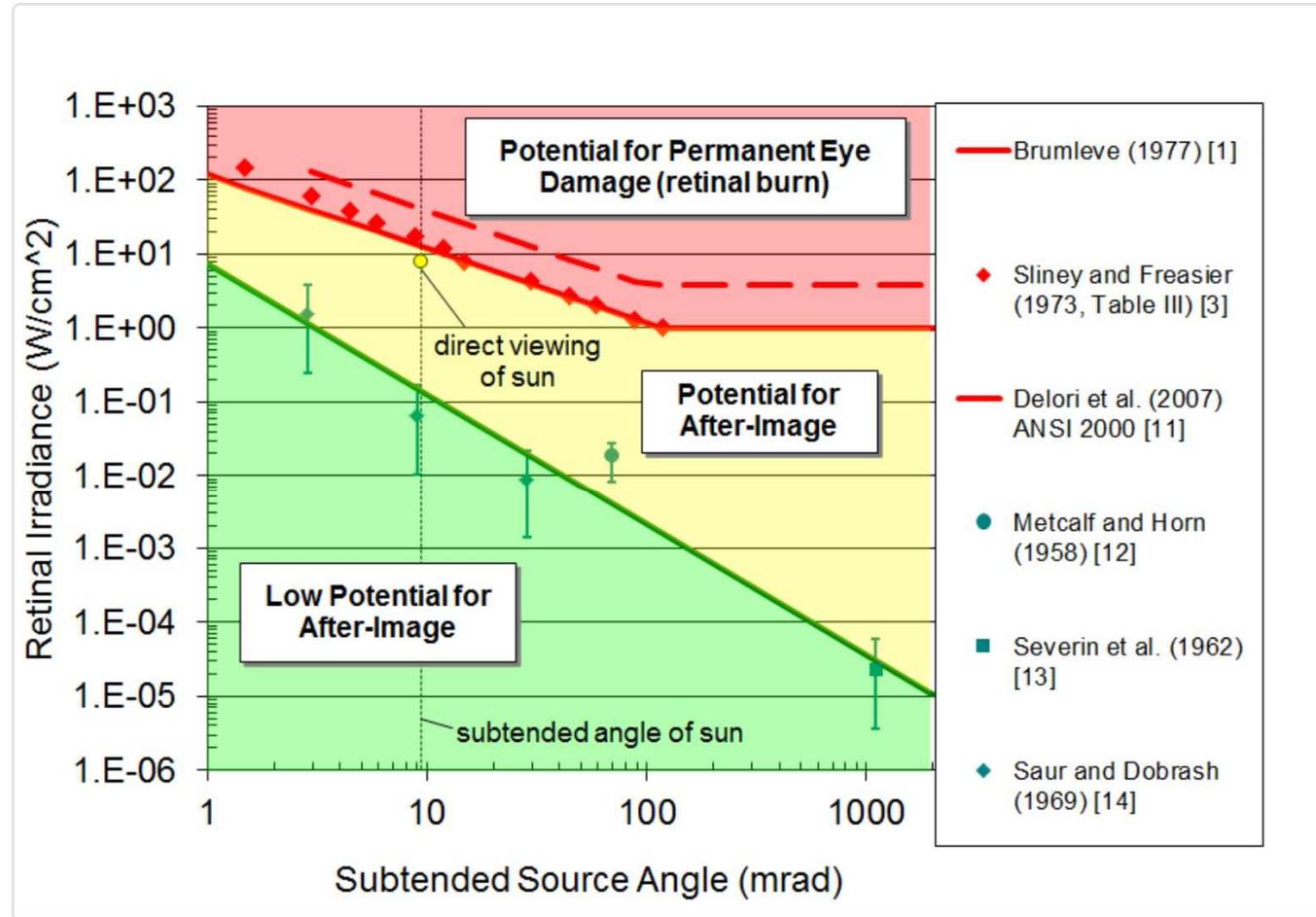
Aucun logiciel de simulation ni d'indice ou de diagramme d'impact oculaire ne sont imposés.

Les bureaux d'étude peuvent développer leur propre logiciel de simulation.

Ces moyens de simulation peuvent permettre de distinguer les moments de l'année où des éblouissements d'inconfort et d'incapacité peuvent se produire.

En cas d'éblouissement d'incapacité, il est nécessaire d'apporter des corrections sur les panneaux et de relancer une nouvelle simulation.

3.5.1 Diagramme d'impact oculaire



Glare hazard plot defines ocular impact as function of retinal irradiance and subtended source angle.

3.5.2 Utilisation d'un threshold increment

Il est possible de caractériser l'éblouissement d'incapacité en calculant un indice particulier, appelé le Threshold Increment (noté TI).

Lorsqu'un observateur est ébloui, cet indice permet de calculer l'augmentation (en pourcentage) du contraste et donc du niveau d'éblouissement

Doc CIE 150:2003

Indice d'éblouissement d'incapacité exprimé en %

1.3.19 threshold increment (*TI*)

The measure of disability glare expressed as the percentage increase in contrast required between an object and its background for it to be seen equally well with a source of glare present.

NOTE: Higher values of *TI* correspond to greater disability glare.

5.4 Determination of threshold increment

5.4.2 Calculation of threshold increment

The threshold increment (*TI*) for a particular position and viewing direction should be determined from the following equation:

$$TI = \frac{k}{L^{0.8}} \sum \frac{E_{eye}}{\theta^2} \quad 5.1$$

- where
- L* = the relevant value of adaptation luminance stated in Table 2.4 in cd/m².
 - E_{eye}* = the illuminance at the observer's eye from one luminaire in the plane normal to the viewing direction, in lux (initial value).
 - θ* = the angle in degrees of arc between the line of sight and the centre of the luminaire.
 - Σ = indicates that the contribution from all luminaires is summed.
 - k* = a constant which varies according to the age of the observer. It is conventionally taken as 650, which is applicable for an observer of 23 years. Its value for other ages can be derived from the formula:

$$k = 641 \cdot \left[1 + \left(\frac{A}{66,4} \right)^4 \right] \quad 5.2$$

A = the age of the observer in years;

3.5.2 Utilisation d'un threshold increment (Suite)

Exemple d'utilisation de TI :

- < 10% : excellent,
- < 15% : acceptable et
- > 40% : estimé intolérable.

3.5.3 Utilisation d'équations d'éblouissement d'incapacité

Doc CIE 146:2002

Equations pour l'éblouissement d'incapacité

Equation tenant compte de l'effet de l'âge, de la pigmentation oculaire et pour étendre le domaine angulaire sur lequel les équations sont valables. Elles décrivent toutes la luminance de voile L_{veil} (en cd/m^2) due à une source d'éblouissement ponctuelle suivant un angle Θ (en degrés) par rapport à la ligne de visée qui donne lieu à un éclairement E_{glare} (en lx) dans le plan de l'œil de l'observateur, et elles le font avec une précision adéquate dans leurs domaines de validité respectifs. L'équation de l'éblouissement d'incapacité de Stiles-Holladay de la CIE ajustée à l'âge a un domaine de validité restreint de $1^\circ < \Theta < 30^\circ$.

3.5.4 Utilisation d'un logiciel d'étude d'éblouissement

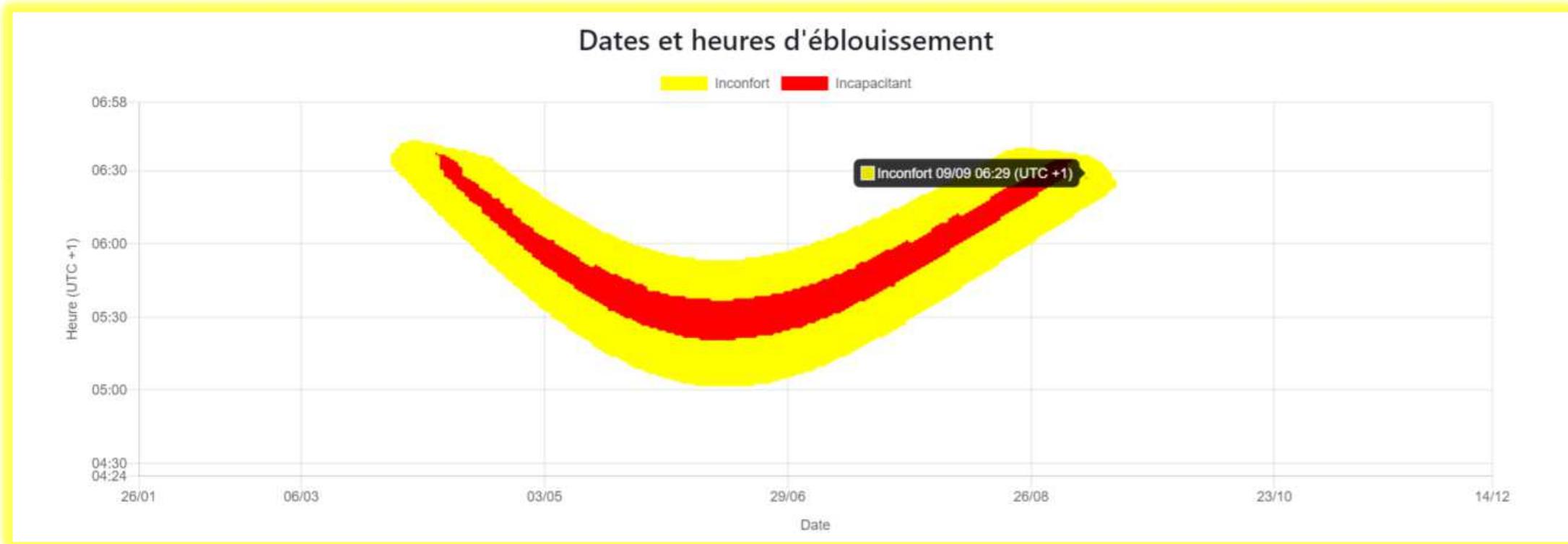
1) Entrées :

- caractéristiques des champs de panneaux PPV (zones, texture, orientation, tilt, tracking)
- zones d'intérêt : définition des points (ATC TWR) ou axes d'intérêt (axes d'approche)

2) Lancement de l'analyse : résultats de l'étude annuelle d'éblouissement au niveau des zones d'intérêt

Les logiciels de simulation peuvent intégrer des modélisations (diagramme d'impact oculaire, TI, équations caractéristiques...) et des équipements complémentaires (axis tracking, revêtement anti-reflet...).

Exemple de résultat graphique intégrant un diagramme d'impact oculaire



Exemples de projets appliquant la NIT rév. 5 et faisant l'objet d'un accompagnement STAC

Aérodrome	Argumentation utilisée
Aubenas Ardèche méridionale	Accessoires et équipements complémentaires, logiciel de simulation
Cosne sur Loire	Dires d'experts, réflexion des surfaces environnantes vs PPV, logiciel de simulation

Niveau de confiance, assurance et risque

La modélisation théorique et les accessoires / équipements peuvent permettre d'augmenter la confiance et l'assurance du porteur de projet. Le risque de constat d'un éblouissement d'incapacité en exploitation n'en sera que diminué. Il aura plus de certitude que sa future installation n'engendrera pas un éblouissement d'incapacité.

C'est le porteur de projet qui choisit de positionner le curseur confiance/assurance/prise de risque au niveau voulu et choisit le type d'argumentation correspondant.

La DGAC n'impose aucun niveau pour le positionnement du curseur.

Une argumentation type peut être utilisée sur plusieurs projets

Niveau de confiance, assurance et risque

La décision de l'acceptation d'une argumentation est portée par la DSAC interrégionale.

Certains arguments sont plus facilement reconnus par la communauté aéronautique..

L'idée générale est de faire confiance à l'argumentation portée par le porteur de projet.

En revanche, comme mentionné au § 4.3.3 de la NIT rév. 5, le porteur de projet s'engage sur l'absence d'éblouissement d'incapacité pour les personnels du PSNA et pilotes et indique son engagement à mettre en œuvre d'éventuelles actions d'atténuation en cas d'éblouissement d'incapacité observé après installation.

4. Questions

4. Questions

- 1) Personnels du prestataire de service de navigation aérienne : contrôleurs aériens et agents AFIS (Aerodrome Flight Information Service, rendant les services d'information de vol et d'alerte sur des aérodromes)
- 2) Impact sur les risques associés au péril animalier : en rapport avec la sécurité aérienne, le porteur de projet peut répondre à ce point après avoir coordonné avec le futur exploitant qui analysera l'impact sans nécessairement passer par un cabinet spécialisé.
- 3) Actions correctives possibles : orientation des PPV, axis et back tracking, verres faibles luminances

4. Questions

- 4) Installations situées en dehors des zones définies : pas d'engagement ni d'études d'éblouissement, inutile de répondre aux objectifs sécurité et conformité. Un avis favorable de l'Aviation civile sera rendu.
- 5) Dépose ultérieure des PPV : uniquement information de l'exploitant aéroportuaire → retrait de la mention de l'AIP par exemple
- 6) Agrandissement : nouvelle argumentation
- 7) Responsabilisation des porteurs de projet : mode déclaratif, avis favorable de principe de l'Aviation civile. Si des éblouissements incapacitants sont avérés en exploitation et la sécurité aérienne est compromise; un retrait, suspension ou restriction du CSA ou homologation peuvent être envisagés.

4. Questions

- 8) Installations situées en dehors des zones définies : pas d'engagement ni 8)
Possibilité de publier une nouvelle version de la NIT à l'été prochain.
- 9) Autres problèmes de sécurité rencontrés après installation des PPV : actions correctives nécessaires
- 10) NIT rév.4 : éblouissement à étudier dans un champ visuel du pilote de +/-90° en phase finale d'approche (<400m) : il est tout à fait possible de prendre en compte cette disposition dans le développement de votre argumentation