
**Optique ophtalmique — Verre de
lunettes — L'œil et les radiations
solaires visibles de courtes
longueurs d'onde**

*Ophthalmic optics — Spectacle lenses — Short wavelength visible
solar radiation and the eye*

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO/TR 20772:2018](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e7321ba5-4fef-48ad-8912-ca6d4cbc240e/iso-tr-20772-2018)

[https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e7321ba5-4fef-48ad-8912-
ca6d4cbc240e/iso-tr-20772-2018](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e7321ba5-4fef-48ad-8912-ca6d4cbc240e/iso-tr-20772-2018)



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO/TR 20772:2018](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e7321ba5-4fef-48ad-8912-ca6d4cbc240e/iso-tr-20772-2018)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e7321ba5-4fef-48ad-8912-ca6d4cbc240e/iso-tr-20772-2018>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2018

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en œuvre, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie, ou la diffusion sur l'internet ou sur un intranet, sans autorisation écrite préalable. Une autorisation peut être demandée à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 401 • Ch. de Blandonnet 8
CH-1214 Vernier, Genève
Tél.: +41 22 749 01 11
Fax: +41 22 749 09 47
E-mail: copyright@iso.org
Web: www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos	v
Introduction	vi
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Préalables: Longueur d'onde alpha bloquant les rayonnements et UV400 en normalisation	1
5 Rayonnement solaire et exposition de l'œil	3
5.1 Rayonnement solaire et atmosphère terrestre.....	3
5.2 Facteurs géométriques.....	5
5.2.1 Généralités.....	5
5.2.2 Exposition et hauteur du soleil.....	6
5.2.3 Réflexion par les surfaces.....	6
5.2.4 Exposition de l'œil et réponse de l'œil à la lumière vive.....	6
5.2.5 Effets de la focalisation de la lumière périphérique.....	7
5.2.6 Éclairement énergétique de la rétine.....	8
6 Effets physiologiques sur l'œil	9
6.1 Dangers pour l'œil.....	9
6.2 Rétines des yeux des enfants.....	9
6.3 Phototoxicité rétinienne de la lumière bleue.....	10
6.3.1 Généralités.....	10
6.3.2 Lumière bleue dans le rayonnement solaire.....	11
6.3.3 Facteur de transmission du milieu oculaire.....	11
6.3.4 Éclairement énergétique de la lumière du soleil atteignant la rétine.....	11
6.4 Études de la rétine.....	11
6.4.1 Généralités.....	11
6.4.2 Effet phototoxique à une valeur proche de 405 nm.....	12
6.5 Mécanismes d'endommagement rétinien.....	13
6.6 Lumière bleue et fonctions non visuelles.....	13
6.7 Facteur de transmission dans le bleu des verres de lunettes et des lunettes de soleil.....	14
6.7.1 Exigences des normes actuelles sur les allégations relatives au facteur de transmission dans le bleu.....	14
6.7.2 Largeur de bande spectrale pertinente et caractéristiques du facteur de transmission.....	14
6.7.3 Effets du filtrage de la lumière bleue sur les verres transparents.....	14
6.7.4 Effets du filtrage de la lumière bleue sur les verres teintés.....	15
7 Fonction de pondération spectrale	15
7.1 Généralités.....	15
7.2 ICNIRP 2013.....	16
7.3 Application des spécifications de l'ICNIRP aux normes sur les verres de lunettes et les lunettes de soleil.....	17
8 Matériaux filtrants et mesurage	18
8.1 Généralités.....	18
8.2 Matériaux pour verres et filtres, y compris traitements spéciaux aux propriétés filtrantes.....	18
8.3 Manière dont les propriétés physiques des verres/filtres affectent la transmission, la réflexion et l'absorption du rayonnement solaire.....	19
8.4 Mesurage des facteurs de transmission spectrale.....	20
8.4.1 Principes des mesurages.....	20
8.4.2 Facteurs importants pour l'exactitude de mesure.....	21
9 Résumé	21

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO/TR 20772:2018](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e7321ba5-4fef-48ad-8912-ca6d4cbc240e/iso-tr-20772-2018)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e7321ba5-4fef-48ad-8912-ca6d4cbc240e/iso-tr-20772-2018>

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir www.iso.org/directives).

L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir www.iso.org/brevets).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la nature volontaire des normes, de la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute autre information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir le lien suivant: www.iso.org/iso/fr/avant-propos.html.

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 172, *Optique et photonique*, sous-comité SC 7, *Optique et instruments ophtalmiques*.

Il convient que l'utilisateur adresse tout retour d'information ou toute question concernant le présent document à l'organisme national de normalisation de son pays. Une liste exhaustive desdits organismes se trouve à l'adresse www.iso.org/fr/members.html.

Introduction

Les préoccupations courantes concernant les allégations marketing invérifiables de blocage des longueurs d'onde proches de 380 nm et supérieures à 380 nm (notamment les allégations UV400) par les verres de lunettes et les lunettes de soleil étaient la principale motivation à l'origine de la création du présent Rapport technique.

Son objectif est d'expliquer les spécifications applicables aux effets de filtrage des verres et des filtres données dans les Normes internationales disponibles – pour les besoins de normalisation dans les domaines des verres de lunettes et des lunettes de soleil, la longueur d'onde de 380 nm est généralement choisie comme limite supérieure du domaine UV solaire et comme limite inférieure du visible – et de fournir des informations sur les données scientifiques actuelles.

Les effets du rayonnement UV sur l'œil sont bien connus et ont été pris en compte dans les exigences techniques des normes sur les verres de lunettes teintés (ISO 8980-3) et sur les lunettes de soleil (ISO 12312-1).

L'engagement de créer le présent document a été inspiré par une résolution de la réunion plénière de l'ISO/TC 172/SC 7, *Optique et instruments ophtalmiques* (responsable des normes sur les verres de lunettes) organisée en 2009, et a été appuyé par l'ISO/TC 94/SC 6, *Protection des yeux et du visage* (responsable des normes sur les lunettes de soleil). L'activité de normalisation de ces deux comités est résumée dans [l'Article 4](#), avec plus de détails sur l'historique et le contexte technique ayant conduit à la décision de créer le présent document.

iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

[ISO/TR 20772:2018](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e7321ba5-4fef-48ad-8912-ca6d4cbc240e/iso-tr-20772-2018>

Optique ophtalmique — Verre de lunettes — L'œil et les radiations solaires visibles de courtes longueurs d'onde

1 Domaine d'application

Le présent document décrit le rayonnement solaire visible dont les longueurs d'onde sont proches de la gamme des UV, sa transmission et ses effets sur l'œil humain. Les longueurs d'onde concernées vont de 380 nm à 500 nm, couvrant les couleurs telles que le violet, l'indigo et le bleu — souvent appelées «longueurs d'onde du bleu».

Il explique également les effets de filtrage et le mesurage des verres de lunettes et des lunettes de soleil, fournissant ainsi des informations générales pour comprendre les exigences relatives au facteur de transmission en lien avec les effets de filtrage des verres et des filtres dans les normes disponibles sur les verres de lunettes et les lunettes de soleil.

Le présent document n'aborde pas le sujet de la protection des sources de rayonnement artificielles.

Le présent document est destiné à être utilisé à l'avenir dans les normes ISO relatives à la transmission du rayonnement solaire dont les longueurs d'onde sont proches de 380 nm et supérieures à 380 nm.

La Bibliographie fournit des références connexes utiles.

2 Références normatives

Les documents suivants sont référencés dans le texte de sorte qu'une partie ou la totalité de leur contenu constitue les exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 4007, *Équipement de protection individuelle — Protection des yeux et du visage — Vocabulaire*

ISO 13666, *Optique ophtalmique — Verres de lunettes — Vocabulaire*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 4007 et l'ISO 13666 s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- ISO Online Browsing Platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>

4 Préalables: Longueur d'onde alpha bloquant les rayonnements et UV400 en normalisation

Ci-après figure un résumé des activités de normalisation de l'ISO/TC 172/SC 7, *Optique et instruments ophtalmiques* (responsable des normes sur les verres de lunettes) et de l'ISO/TC 94/SC 6, *Protection du visage et des yeux* (responsable des normes sur les lunettes de soleil) en lien avec les allégations telles qu'UV400, et les tentatives de définition du terme *longueur d'onde alpha bloquant le rayonnement*. Il spécifie le contexte ayant conduit à la décision de créer le présent document.

Les plages de la longueur d'onde nominale du spectre électromagnétique ont été adoptées par différentes agences et organisations afin de faciliter la communication. Dans plusieurs domaines (par exemple, CIE, ICNIRP, IEC et secteurs tels que cosmétique et dermatologie), la plage UV est considérée comme s'étendant jusqu'à 400 nm, ce qui signifie qu'elle recoupe la définition de la CIE de la lumière visible.

Pour les besoins de la normalisation dans les secteurs des verres de lunettes et des lunettes de soleil, une longueur d'onde de 380 nm est généralement choisie comme limite supérieure du domaine UV solaire et comme limite inférieure du visible.

Les documents terminologiques qui régissent les termes et les définitions applicables aux normes sur les verres de lunettes et la protection de l'œil (y compris les lunettes de soleil) sont l'ISO 13666 et l'ISO 4007.

Dans ces deux Normes internationales, la définition du rayonnement ultraviolet est un «rayonnement optique dont les longueurs d'onde sont inférieures à celles du rayonnement visible» tandis que celle du rayonnement visible est un «rayonnement optique susceptible de produire directement une sensation visuelle».

Ainsi, les définitions des normes des domaines UV et visibles reposent sur les limites de la photo-détection. Cela vaut également pour la limite supérieure du visible qui recoupe le domaine du rayonnement infrarouge.

Étant donné que la limite inférieure de détection est relativement imprécise, qu'elle varie selon les individus et qu'elle est souvent inférieure à 360 nm, il était explicitement nécessaire de décider qu'une seule longueur définisse précisément la limite supérieure du domaine UV en vue de l'application aux normes sur les verres de lunettes et les lunettes de soleil.

Dans l'ISO 20473, le comité ISO/TC 172, *Optique et photonique*, a fait le choix d'une seule longueur d'onde pour toutes les normes sur l'optique et la photonique.

Cette seule et même longueur d'onde a été choisie comme point médian dans la gamme des limites inférieures du visible (360 nm à 400 nm) utilisé par la CIE (Commission Internationale de l'Éclairage), à savoir 380 nm.

Cette définition de 380 nm de la limite supérieure des domaines UV a également été adoptée dans l'ISO 4007 sur les lunettes de soleil.

Les normes ISO et les normes nationales sur les verres de lunettes et les lunettes de soleil suivent généralement cette approche.

Au fil du temps, des incertitudes sont nées en raison d'allégations marketing floues qui incluaient le terme «UV».

En 1980, le fabricant de verres de lunettes ORC a commencé à utiliser le terme «UV-400» pour certains de ses produits qui absorbaient plus fortement que les produits standards dans la région s'étendant jusqu'à 400 nm. Par conséquent, le terme «UV400» a été couramment employé pour alléguer un faible facteur de transmission spectrale allant jusqu'à 400 nm.

Les dermatologues du Royaume-Uni ont noté que les lunettes de soleil étiquetées «UV400» convenaient aux patients soumis ou ayant été soumis à un traitement cutané par puvathérapie. Un fabricant de verres blancs à indice moyen les a décrites comme bloquant pratiquement tout le rayonnement UV-A, conformément à la définition ISO des UV-A pour les verres de lunettes. Certains dermatologues ont remis en question cet argument, habitués à considérer le domaine UV-A comme s'étendant jusqu'à 400 nm et assurant qu'il y aurait un blocage spectral à cette longueur d'onde.

Suite à cet événement, les documents commerciaux ont proliféré avec des allégations UV400, certaines lunettes de soleil utilisant les allégations UV420 voire UV440. Ces allégations présupposent un degré supérieur de blocage du rayonnement solaire nocif. Le degré de supériorité (pour autant qu'il existait) n'était pas du tout précis.

Certaines allégations UV400 ont été faites pour des produits en partant du principe que le facteur de transmission des UV-A solaires calculé entre 315 nm et 400 nm était conforme à la norme australienne/néozélandaise sur les lunettes de soleil. Cependant, dans certains de ces cas, le facteur de transmission spectrale à 400 nm était supérieur à 10 %.

Pour s'en assurer, l'ISO/TC 94/SC 6 et l'ISO/TC 172/SC 7 ont commencé à travailler en parallèle sur leurs documents terminologiques respectifs, avec un objectif commun: créer une seule définition exhaustive qui permettrait de vérifier les allégations relatives aux verres de lunettes et aux lunettes de soleil, notamment «UV400».

L'approche choisie consistait à élaborer des définitions en utilisant les concepts de «blocage» et de «coupure». Plusieurs définitions, nécessitant généralement des facteurs de transmission spectrale inférieurs à une valeur spécifiée à et en dessous de la longueur d'onde de coupure alléguée, ont été discutées.

Un terme *longueur d'onde bloquant les XXX* a été suggéré, XXX étant la longueur d'onde à laquelle le blocage ou la coupure est allégué(e). Ce terme a ensuite été repris sous l'expression connue *longueur d'onde alpha bloquant le rayonnement*.

Le travail d'élaboration d'une définition de la longueur d'onde alpha bloquant le rayonnement s'est poursuivi quelques années avec force débats au sein des deux comités. Plusieurs définitions ont été expérimentées, certaines complexes, d'autres relativement simples.

Toutefois, malgré de pertinentes améliorations, il n'a finalement pas été possible de trouver un accord sur une définition de la *longueur d'onde alpha bloquant le rayonnement*. Ce fut le cas dans le groupe de projet de l'ISO 13666 et le groupe de travail chargé de réviser l'ISO 4007.

La définition la plus simple et la plus récente de la *longueur d'onde alpha (α) bloquant le rayonnement* discutée au sein des groupes en 2009 était la suivante:

- longueur d'onde maximale, α , égale ou supérieure à 380 nm pour laquelle le facteur de transmission spectrale est inférieur à x % entre 280 nm et α nm.

Ceci permet de valider les allégations telles que «UV400» qu'il conviendrait d'appeler correctement «bloquant le rayonnement UV400».

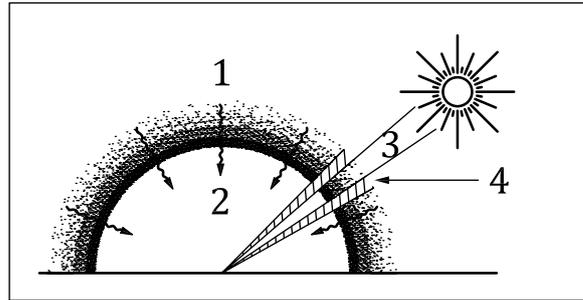
Les experts impliqués ont généralement admis qu'il convenait que la valeur de x soit faible. Les valeurs suggérées se situaient entre 1 % et 4 %.

Même si le travail de définition d'un terme utile pour la validation de ces allégations n'a pas porté ses fruits, les deux comités ont reconnu qu'il convenait de rédiger un Rapport technique pour faciliter la compréhension des sujets connexes. Le présent document est le résultat de ce travail.

5 Rayonnement solaire et exposition de l'œil

5.1 Rayonnement solaire et atmosphère terrestre

Le rayonnement solaire est partiellement absorbé et diffusé lorsqu'il traverse l'atmosphère terrestre. Cela réduit l'éclairement énergétique des rayons directs qui arrivent au niveau d'un emplacement de la surface de la terre, mais la diffusion redirige les rayons du ciel vers cet emplacement. L'éclairement énergétique total au niveau de l'emplacement est la somme de l'éclairement énergétique des rayons directs (éclairement énergétique direct) et des rayons diffusés (éclairement énergétique diffus). L'éclairement énergétique total sur une surface horizontale est appelé «éclairement énergétique global». Voir la [Figure 1](#).



Légende

- 1 atmosphère terrestre
- 2 diffus
- 3 direct
- 4 global

NOTE Adapté de Sliney et Wolbarsht[24], reproduction autorisée.

Figure 1 — Illustration du terme «éclairage énergétique global» du soleil

Les éclairagements énergétiques direct et diffus sur une surface horizontale dépendent de l'angle d'incidence des rayons solaires sur la surface. Tous deux varient en fonction de la position du soleil. L'éclairage énergétique sur une surface horizontale est réduit par le facteur géométrique (cosinus) de l'angle d'incidence de chaque rayon, car la zone éclairée par le faisceau de rayons du soleil (et depuis chaque région du ciel) augmente à mesure que s'accroît l'angle d'incidence. De plus, la longueur du trajet à travers l'atmosphère augmente à mesure que s'accroît l'angle d'incidence. Par conséquent, l'absorption et la diffusion sont plus élevées.

ISO/TR 20772:2018

La hauteur du soleil, et donc l'exposition annuelle, varie en fonction de la saison, de l'heure de la journée et en particulier de la latitude.

NOTE Les personnes vivant dans les régions tropicales sont soumises à des niveaux d'exposition annuelle nettement plus élevés que celles vivant à des latitudes inférieures.

Étant donné que les longueurs du trajet diminuent à mesure qu'augmente l'altitude du site récepteur, l'absorption et la diffusion atmosphériques baissent. Ainsi, les éclairagements énergétiques direct et global augmentent, mais les éclairagements énergétiques par le rayonnement diffusé diminuent.

Le terme «masse d'air» (MA) est utilisé pour représenter la longueur du trajet dans l'atmosphère des rayons solaires directs. MA-1 est le trajet où le soleil est au zénith et MA-2 est le trajet où la lumière parcourt le double de la distance à travers l'atmosphère par rapport à MA-1. MA-2 s'applique lorsque le soleil est à une hauteur de 30° au-dessus de l'horizon.

Les calculs du facteur de transmission solaire dans les normes sur les verres de lunettes et les lunettes de soleil reposaient sur la répartition de la puissance spectrale MA-2 du rayonnement atteignant l'œil directement depuis le soleil. Lorsque l'énergie diffusée par l'atmosphère est incluse, c'est-à-dire «l'éclairage énergétique global», la proportion de lumière bleue incidente sur le visage d'une personne est plus élevée qu'en utilisant les valeurs directes. Lors du calcul du risque lié à la lumière bleue, certains experts considèrent qu'il convient d'utiliser la répartition spectrale globale MA-1 ou MA-2 à la place de la MA-2 directe actuellement appliquée dans les normes, voir la [Figure 2](#). Il convient également de tenir compte de la réflexion spéculaire du rayonnement riche en lumière de courte longueur d'onde émis par le soleil et réfléchi par les pare-brise de voitures à mi-journée (Sliney 2002)[15].



Légende

X longueur d'onde (nm)

Y éclairement énergétique spectral ($\text{mW}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$)

1 MA-2 selon Moon

2 MA-1 selon la CIE

3 MA-2^a selon la CIE [https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e7321ba5-4fef-48ad-8912-](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e7321ba5-4fef-48ad-8912-ca6d4cb240e/iso-tr-20772-2018)

^a Les valeurs de MA-2 selon la CIE ont été ajustées car les données de la CIE représentent l'éclairement énergétique tombant sur une surface horizontale comparé aux valeurs de P. Moon pour l'incidence perpendiculaire. Par conséquent, la composante due à l'éclairement énergétique direct a été doublée pour compenser cela et a été ajoutée à la valeur applicable à la lumière diffusée. Les valeurs de l'article de Moon sont données dans de nombreuses normes ISO, notamment l'ISO 13666 et l'ISO 4007.

Figure 2 — Comparaison des valeurs de la MA-1 et de la MA-2 de la CIE avec l'éclairement énergétique direct MA-2 de Moon

5.2 Facteurs géométriques

5.2.1 Généralités

Les effets photobiologiques sur la rétine humaine, la cornée et le cristallin dépendent fortement de la géométrie d'exposition ainsi que des caractéristiques spectrales de l'exposition. La sensibilité variable de l'œil à la lumière lui permet de bien fonctionner à de très faibles niveaux d'éclairage de nuit et lui permet également de s'adapter à des environnements extrêmement lumineux dans lesquels les expositions de lumière sont plus élevées de plusieurs ordres de grandeur. L'œil a évolué pour se protéger raisonnablement bien contre l'exposition dans des environnements lumineux. La rétine est minimalement exposée dans des environnements extrêmement lumineux et la cornée et le cristallin sont étonnamment bien protégés dans des environnements difficiles. Bien que ces mécanismes de protection soient de qualité, ils ne sont pas parfaits et le risque de modifications défavorables dues à des expositions aiguës et chroniques à la lumière du soleil subsiste. Ces facteurs géométriques sont bien décrits par Sliney (2005)^[16].

5.2.2 Exposition et hauteur du soleil

Bien que l'éclairement énergétique solaire sur une surface horizontale atteigne son niveau maximal à mi-journée lorsque le soleil est au zénith, les yeux sont protégés par les sourcils et les paupières supérieures, ces dernières se fermant significativement lorsque l'éclairement sur les yeux est élevé (Deaver, et al, 1996)^[17]. Toutefois, les paupières inférieures peuvent continuer d'être exposées au rayonnement solaire même lorsque le soleil est plus haut dans le ciel car elles ne sont pas protégées par les sourcils.

Sasaki, et al (2011)^[18] ont démontré une relation intéressante entre l'éclairement énergétique sur les yeux et la hauteur du soleil. Ils ont exposé une tête de mannequin rotative inclinée à 15° vers le bas et ont mesuré les UV-B solaires avec des photorécepteurs au niveau de la position de l'œil et derrière la tête à une hauteur moyenne (*Kanazawa, Japon*). Ils ont découvert que l'éclairement énergétique solaire sur les yeux face au soleil d'été atteint son niveau maximal au milieu de la matinée et de l'après-midi, lorsque la hauteur du soleil est d'environ 40°. En été, on observe une diminution de l'éclairement énergétique sur les yeux à mi-journée, cette diminution étant attribuée à la protection par le sourcil, ce qui prouve que l'éclairement énergétique sur les yeux pendant la journée a une fonction bimodale.

Les mois d'hiver, cette fonction bimodale n'a pas été démontrée. Dans ce cas, l'éclairement énergétique maximal se situe à mi-journée car la hauteur maximale du soleil est insuffisante pour que le sourcil soit suffisamment protecteur.

Des résultats similaires sont attendus pour le rayonnement visible de courte longueur d'onde.

5.2.3 Réflexion par les surfaces

En plus des éclairagements énergétiques direct et diffus du ciel, il est important de tenir compte de la composante significative attribuée aux surfaces réfléchissantes.

Étant donné que les normes ISO sur les verres de lunettes (ISO 8980-3) et les lunettes de soleil pour usage général (ISO 12312-1) excluent l'observation directe du disque solaire, le rayonnement fortement diffusé vers l'avant à proximité immédiate du disque est lui aussi automatiquement exclu. Par conséquent, l'exposition des yeux au rayonnement solaire est due à la diffusion par l'atmosphère et par la réflexion par le sol. Étant donné que les facteurs de réflexion par le sol présentent de fortes variations locales, un facteur de réflexion diffuse moyen représentatif est assigné aux compositions spectrales dont l'éclairement énergétique solaire global a été calculé. Le rayonnement réfléchi par le sol s'ajoute à la luminance énergétique du ciel. Les paupières inférieures peuvent continuer d'être exposées au rayonnement solaire même lorsque le soleil est plus haut dans le ciel car elles ne sont pas protégées par les sourcils.

La composante *éclairage énergétique diffus* attribuée au ciel, sur une surface horizontale au niveau de la mer, est égale à l'*éclairage énergétique solaire global* auquel on soustrait l'*éclairage énergétique solaire direct*^[15]^[17]. À partir de là, la *luminance énergétique moyenne du ciel un jour clair* est: π^{-1} (= 0,314) fois l'éclairement énergétique diffus du ciel sur une surface horizontale au niveau de la mer. L'angle solide effectif du ciel est égal à (= 3,141 6). Kondratyev^[19] indique que la luminance énergétique du ciel clair augmente entre le zénith et l'horizon; de plus, les mesurages ont généralement montré une augmentation d'un facteur proche de deux^[20]^[21]. Par conséquent, le facteur selon lequel la luminance énergétique du ciel à l'horizon dépasse la luminance énergétique *moyenne* du ciel doit être moins élevé. Kondratyev spécifie également que, bien qu'un nombre limité de nuages dans une configuration particulière augmente légèrement l'éclairement énergétique global, une moyenne à long terme de l'aspect nuageux varié montre que les nuages sont systématiquement supposés réduire l'éclairement énergétique global (et de ce fait, la luminance énergétique moyenne du ciel également).

5.2.4 Exposition de l'œil et réponse de l'œil à la lumière vive

Pour évaluer l'effet biologique potentiel, il est nécessaire d'estimer les éclairagements énergétiques de la rétine, de la cornée et du cristallin d'un œil exposé au rayonnement solaire dans des situations d'exposition sélectionnées. Les facteurs de transmission spectrale des milieux oculaires (cornée,