

Impacts physiologiques liés à l'utilisation d'un projecteur pour enfant

A l'attention de :

Mme Thiphaine Le Roy

Société Charade
54 rue Lepic
75018 Paris

Auteurs	Approbation	Version - Date	Vérification
Christophe MARTINSONS christophe.martinsons@cstb.fr	Sébastien AGNOLIN sebastien.agnolin@cstb.fr	Version 1	Ghislaine CAPOURET
Picard Nicolas nicolas.picard@cstb.fr		11 août 2022	

Rapport d'étude n° FR22CHARAY-12642

1. CONTEXTE DE L'ETUDE

En juin 2021, le CSTB a effectué une évaluation du projecteur Tikino® selon la norme de sécurité photobiologique NF EN 62471-5 (Sécurité photobiologique des lampes et des appareils utilisant des lampes - Partie 5 : projecteurs d'images). L'évaluation a abouti au classement en groupe de risque 0 : sans risque pour l'œil et la peau, même dans des conditions critiques d'observation directe au travers de la lentille de projection.

À la suite de cette évaluation, le CSTB a été recontacté le 1 juillet 2022 par Mme Thiphaine Le Roy pour mesurer les impacts physiologiques résultants de l'exposition lumineuse de l'enfant lors du visionnage d'un contenu typique spécifique à Tikino®.

2. OBJECTIFS DE L'ETUDE

Cette étude vise à mesurer trois catégories d'impacts physiologiques exerçant une influence sur la santé et le bien-être de l'enfant.

1 - Impacts sur le déphasage de l'horloge biologique (rythme circadien), l'endormissement et la qualité du sommeil résultant de la composante mélanopique de la lumière reçue :

- Mesure de l'éclairement mélanopique m-EDI reçu au niveau de l'œil.

2 - Intensité de la stimulation du système visuel résultant des variations temporelles de lumière induites par le contenu affiché par le projecteur :

- Mesure de l'indice de papillotement P_{st}^{LM} .

3 - Potentiel de déclenchement de crises d'épilepsie lié aux variations temporelles de lumière induites par le contenu affiché par le projecteur :

- L'identification et la caractérisation des flashes rapides.

3. DESCRIPTION DES PARAMETRES ET DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

3.1. ECLAIREMENT m-EDI

Chez l'homme, la régulation du rythme circadien est assurée par les cellules ganglionnaires à mélanopsine situées dans la rétine. Les cellules ganglionnaires à mélanopsine sont reliées au noyau suprachiasmatique (SCN), la zone du cerveau qui est le siège de l'horloge biologique centrale. A son tour, le SCN contrôle un grand nombre de mécanismes biologiques. Le plus important, et le mieux connu, est la sécrétion de la mélatonine par la glande pinéale. Pour les personnes ayant une activité diurne, la mélatonine est naturellement sécrétée pendant la nuit en l'absence de lumière. L'exposition lumineuse reçue pendant toute la journée influence directement la production nocturne de mélatonine, via le mécanisme de détection de lumière « circadienne » dont les cellules ganglionnaires à mélanopsine constituent le premier élément. L'exposition à la lumière en soirée est capable d'inhiber la sécrétion de mélatonine et ainsi de retarder l'heure d'endormissement.

Les perturbations du rythme circadien par l'environnement lumineux, et en particulier le soir et la nuit, sont responsables d'effets négatifs sur la santé : perturbations du sommeil, mauvais état d'éveil pendant la journée, symptômes dépressifs, etc. A long terme, les perturbations du rythme circadien sont associées à des risques accrus de maladies graves telles que le diabète et le cancer.

L'efficacité de la suppression de la mélatonine par la lumière est devenue la mesure privilégiée de l'effet de la lumière sur l'horloge biologique et le rythme circadien. Les recherches récentes sur les effets circadiens de la lumière ont permis de quantifier la sensibilité spectrale de l'efficacité circadienne de la lumière, connue seulement depuis quelques années. La norme CIE S026 a défini en 2018 la courbe de sensibilité mélanopique de l'humain (Figure 1). Les longueurs d'onde les plus actives sont dans le domaine bleu-vert du spectre visible avec le maximum à la longueur d'onde de 490 nm.

Rapport d'étude n° FR22CHARAY-12642

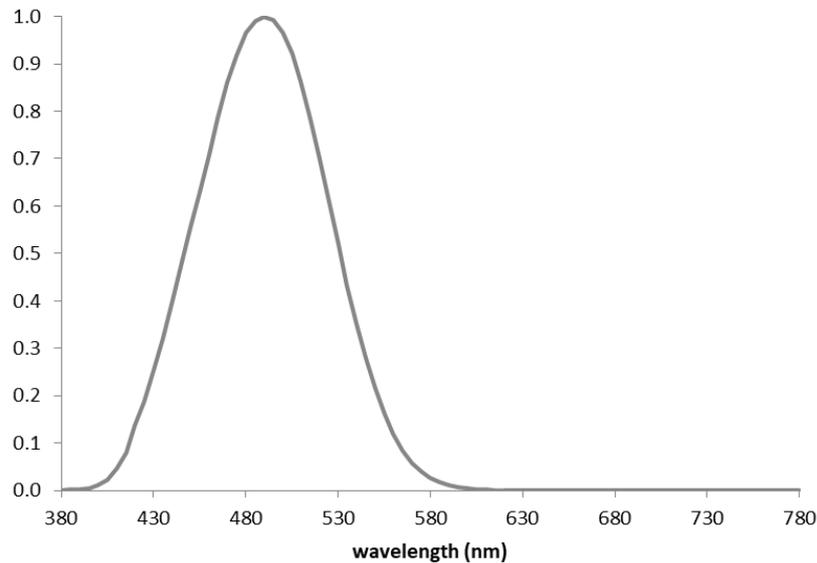


Figure 1. Courbe de sensibilité mélanopique standard de la norme CIE S026

A partir de cette courbe, il est possible de déterminer l'efficacité mélanopique d'une lumière selon son spectre, en prenant pour référence le spectre normalisé D65 de la lumière naturelle. Ainsi, la norme CIE S026 définit une nouvelle mesure d'éclairement basée sur l'efficacité mélanopique : l'éclairement mélanopique équivalent à la lumière du jour (m-EDI) qui s'exprime en lux.

L'éclairement m-EDI peut être inférieur ou supérieur à l'éclairement classique (éclairement photopique) mesuré au luxmètre au niveau de l'œil selon que l'efficacité mélanopique de la lumière est respectivement inférieure ou supérieure à celle de la lumière du jour.

Les recherches récentes ont également permis de mieux connaître les relations doses-réponses et de définir des recommandations pour limiter l'exposition lumineuse en soirée et pendant la nuit :

Recommandations d'exposition lumineuse pendant la soirée dans les environnements résidentiels et autres environnements intérieurs :

Pendant la soirée, à partir d'au moins 3 heures avant le coucher, l'éclairement m-EDI maximal recommandé est de 10 lux mesuré dans le plan de l'œil.

Recommandations d'exposition lumineuse pendant la nuit :

L'environnement de sommeil doit être aussi sombre que possible. L'éclairement m-EDI ambiant maximal recommandé est de 1 lux mesuré dans le plan de l'œil.

Références :

CIE S026 "CIE System For Metrology Of Optical Radiation For Iprgc-Influenced Responses To Light." CIE International Standard, December 12, 2018. <https://doi.org/10.25039/S026.2018>.

Brown et al. "Recommendations for Daytime, Evening, and Nighttime Indoor Light Exposure to Best Support Physiology, Sleep, and Wakefulness in Healthy Adults." PLOS Biology 20 (March 17, 2022) : <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001571>.

Rapport d'étude n° FR22CHARAY-12642

3.2. INDICE P_{st}^{LM}

Le paramètre P_{st}^{LM} a été normalisé dans le rapport technique IEC-TR 61547-1 (2020) pour quantifier l'intensité des stimulations visuelles perçues lors des variations temporelles de l'éclairage produit par une source de lumière dans le champ de vision d'un observateur. Il s'agit d'un indice de papillotement, appelé aussi indice de scintillement ou *flicker* en anglais. Ce paramètre est très utilisé dans le domaine de l'éclairage et de l'affichage.

Le calcul de l'indice P_{st}^{LM} intègre la courbe de sensibilité humaine aux contrastes temporels présentée en Figure 2. Cette courbe est maximale pour des fréquences de modulation comprises entre 8 Hz et 10 Hz. La fréquence maximale de modulation pouvant être détectée par un observateur statique est de l'ordre de 60 Hz, il s'agit de la fréquence critique de fusion du système visuel. Les étapes de calcul de l'indice P_{st}^{LM} sont décrites dans la Figure 3.

Lorsque P_{st}^{LM} est inférieur ou égal à 1, les variations temporelles de lumière ne sont pas perceptibles par un observateur moyen. Lorsque P_{st}^{LM} est supérieur à 1, les variations temporelles de lumières sont perceptibles. Dans ce cas, la valeur de P_{st}^{LM} augmente avec l'intensité moyenne des variations lumineuses perçues pendant la séquence analysée.

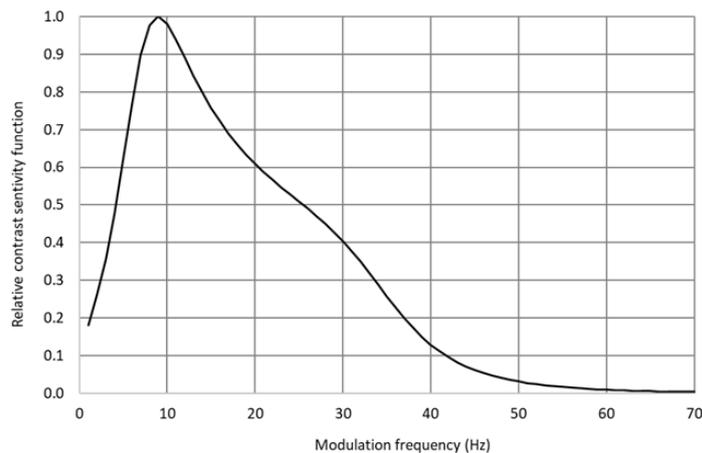


Figure 2. Courbe de sensibilité aux contrastes temporels utilisée pour le calcul de l'indice P_{st}^{LM}

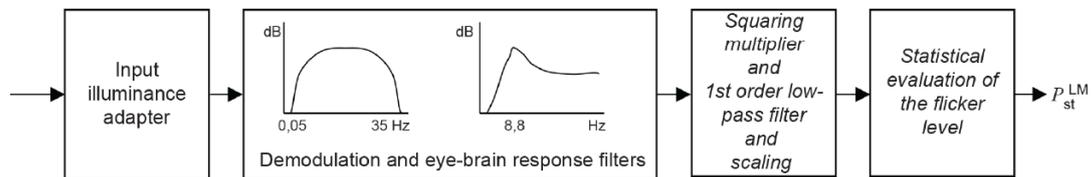


Figure 3. Etapes de l'algorithme de calcul de l'indice P_{st}^{LM}

Note : l'indice P_{st}^{LM} n'est pas sensible au niveau absolu de l'éclairage et il n'est pas sensible non plus au spectre des longueurs d'onde lumineuses. Les deux paramètres P_{st}^{LM} et *m-EDI* sont donc indépendants.

Référence :

Rapport technique IEC TR 61547-1:2017, Equipment for general lighting purposes - EMC immunity requirements - Part 1: An objective light flickermeter and voltage fluctuation immunity test method.

Rapport d'étude n° FR22CHARAY-12642

3.3. IDENTIFICATION DE FLASHES RAPIDES POUVANT DECLENCHER DES CRISES D'EPILEPSIE

Les variations temporelles rapides des images d'une séquence vidéo sont susceptible de déclencher des crises chez les sujets atteints d'épilepsie photosensible. Les séquences de flashes doivent être évitées. Dans le cas contraire, elles doivent être analysées selon des critères quantitatifs.

Les préconisations à respecter pour les séquences flashes sont les suivantes :

- Pas plus de 3 flashs blancs et/ou rouges par seconde dans toute la séquence vidéo affichée.
- La surface combinée des flashs se produisant simultanément n'occupe pas plus d'un total de 0,006 stéradian dans n'importe quel champ visuel de 10° sur l'écran, soit 25% du champ visuel.
- Un flash est défini comme une série de deux variations de luminance opposées (baisse puis augmentation ou vice-versa) d'une amplitude relative $\geq 10\%$, avec la luminance relative de l'image la plus sombre qui doit être inférieure à 0.80.
- Un flash rouge est défini comme toute paire de transitions opposées impliquant un rouge saturé.

Références :

Norme ITU-R BT.1702 "Guidance for the reduction of photosensitive epileptic seizures caused by television".

Norme "Web Content Accessibility Guidelines" WCAG, version 2.1.

4. PRINCIPE DE L'ETUDE

Afin d'établir une comparaison entre le projecteur Tikino® et un dispositif typique de visionnage de dessin animé par les enfants, les caractérisations de m-EDI et P_{st}^{LM} seront effectuées dans un premier avec le projecteur Tikino® et dans un second temps avec une tablette.

Pour les deux dispositifs, l'éclairage m-EDI sera évalué dans la condition fournissant l'éclairage le plus élevé dans le plan de l'œil : l'image blanche uniforme.

Pour le projecteur, l'indice P_{st}^{LM} sera évalué à partir d'une mesure de 180 secondes (3 minutes) d'une séquence vidéo typique élaborée spécialement pour le projecteur Tikino® et chargée dans la mémoire de l'appareil.

Pour la tablette, l'indice P_{st}^{LM} sera évalué avec un contenu typique populaire pour les jeunes enfants : un dessin animé disponible sur la plateforme de diffusion YouTube.

Rapport d'étude n° FR22CHARAY-12642

5. DESCRIPTION DES DISPOSITIFS SOUMIS A L'EXPERTISE

Le projecteur d'images à caractériser a été conçu par la société Charade (Figure 4). Sa dénomination commerciale est Tikino®. Aucune caractéristique technique n'a été communiquée par le fabricant. En fonctionnement normal, le projecteur est alimenté par batterie ou secteur. Le détail de la partie optique du projecteur n'est pas renseigné ici et est confidentiel. Il est possible de régler le focus à l'aide d'une bague de réglage. Il n'y a pas de réglage possible de la luminosité.



Appareil fourni dans le cadre de l'expertise.



Etiquette de l'appareil mentionnant notamment le numéro de série.

Figure 4. Photographie de l'appareil Tikino® testé et son étiquette.

La tablette transmise pour la comparaison de cette étude est une tablette Apple iPad (Figure 5). Il s'agit d'un iPad2 (2^{ème} génération) dont la commercialisation a débuté en 2011. Selon le fabricant, les données de l'écran sont les suivantes :

- Ecran Multi-Touch panoramique brillant rétroéclairé par LED de 9,7 pouces de diagonale
- La technologie utilisée pour la dalle est IPS
- Résolution de 1024 x 768 pixels à 132 pixels par pouce



Photographie de la tablette testée



Information affichée par la tablette

Figure 5. Tablette Apple iPad 2 testée.

Rapport d'étude n° FR22CHARAY-12642

6. MESURES OPTIQUES

6.1. INSTRUMENTS DE MESURE UTILISES

Les équipements utilisés sont listés dans le Tableau 1.

Luminancemètre, chromamètre	Konica-Minolta	CS200
Luxmètre spectroradiomètre	Konica-Minolta	CL500A
Flickermètre et spectroradiomètre	Gigahertz-Optik	BTS256 EF

Tableau 1. Instruments de mesures optiques utilisés.

6.2. DETERMINATION DU COEFFICIENT DE REFLEXION DE L'ECRAN POUR LA PROJECTION

Le projecteur nécessite une surface de projection afin de visualiser le contenu. La surface de projection utilisée au CSTB est un mur lisse peint avec de la peinture de type « blanc mat ». Son coefficient de réflexion a été mesuré juste avant de procéder aux caractérisations des dispositifs grâce à deux mesures simultanées d'éclairement et de luminance. La valeur du coefficient de réflexion est égale à 0.8, ce qui est typique pour un mur blanc d'un bureau ou d'une chambre.

6.3. MESURES SUR LE PROJECTEUR TIKINO®

Le projecteur est positionné à 1.70 m du mur. Il s'agit de la distance d'observation typique, communiquée par Mme Le Roy. Le projecteur n'est pas incliné ce qui évite les distorsions de l'image. La mise au point est effectuée manuellement à l'aide de la bague de réglage de l'objectif. A cette distance, la bague est en butée mais l'image est parfaitement nette. L'image obtenue sur le mur mesure 109 cm x 64.8 cm.

Deux types de contenu sont utilisés :

- Une image blanche uniforme et statique obtenue en mettant en pause la vidéo 'Les Petits Yogis' sur une image blanche uniforme.
- La vidéo 'Un Trésor au Pôle Sud'.

Les appareils sont positionnés à cette même distance de 1.70 m. Les capteurs sont orientés parallèlement au mur afin d'être équivalent à une observation réelle.

6.3.1. IMAGE BLANCHE STATIQUE TIKINO®

La Figure 6 montre les variations temporelles de l'éclairement dans le plan de l'œil pendant 180 secondes d'acquisition sur l'image blanche statique.

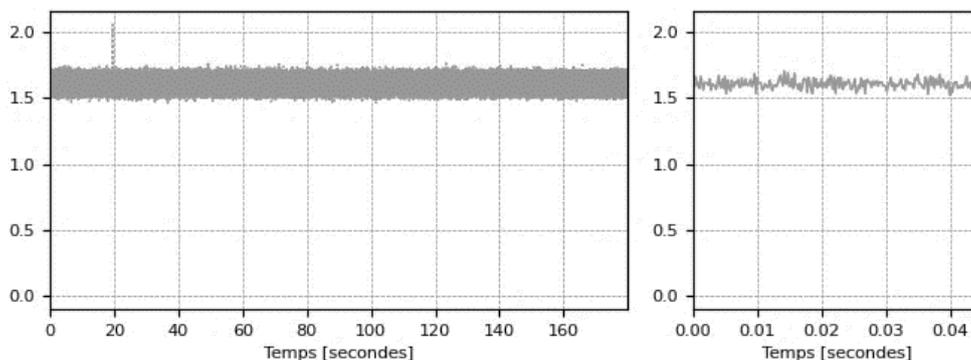


Figure 6. Evolution de l'éclairement lumineux (lux) dans le plan de l'œil au cours du temps (le graphique de droite est un agrandissement montrant l'allure du signal lumineux pendant 45 ms).

Rapport d'étude n° FR22CHARAY-12642

La Figure 7 est le spectre du rayonnement lumineux de l'image blanche statique.

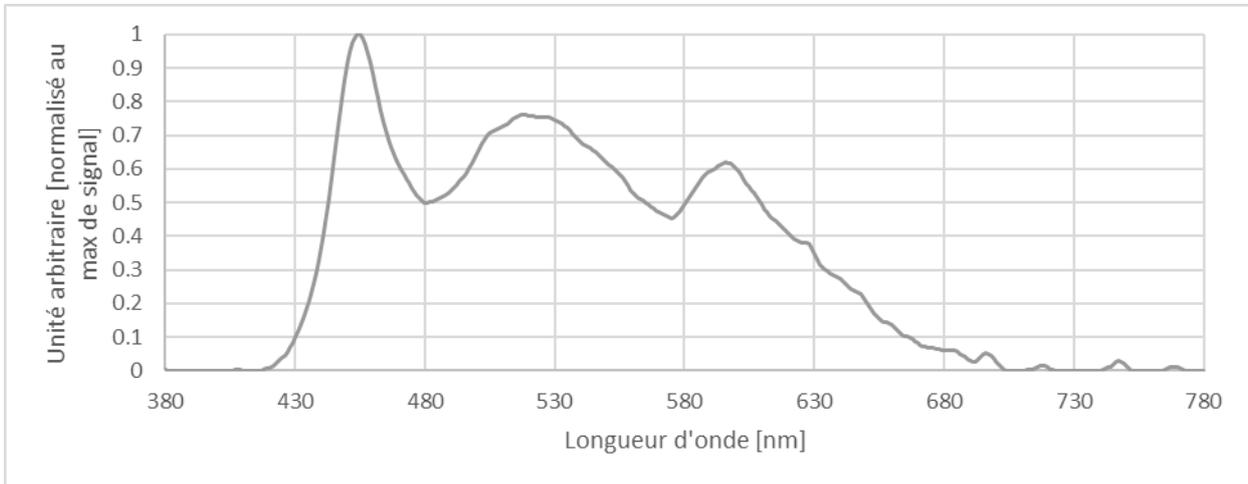


Figure 7. Spectre de l'image blanche statique.

On obtient par calcul les grandeurs suivantes :

Image blanche statique Tikino®				
P_{st}^{LM}	Eclairage m-EDI	Eclairage dans le plan de l'œil	Luminance moyenne de l'image blanche	Température de couleur mesurée dans le plan de l'œil
0.4	1.5 lux	1.6 lux	7 cd/m ²	6682 K

6.3.1. SEQUENCE VIDEO TIKINO®

Un enregistrement de 180 secondes est effectué sur la séquence vidéo choisi parmi les contenus disponibles en mémoire dans le projecteur. L'enregistrement démarre au début de la scène et se termine 3 minutes plus tard (Figure 8).



Figure 8. Extrait de la vidéo Tikino® utilisée pour l'acquisition du signal lumineux au cours du temps.

Rapport d'étude n° FR22CHARAY-12642

Les variations temporelles de l'éclairage lumineux sont représentées dans la Figure 9.

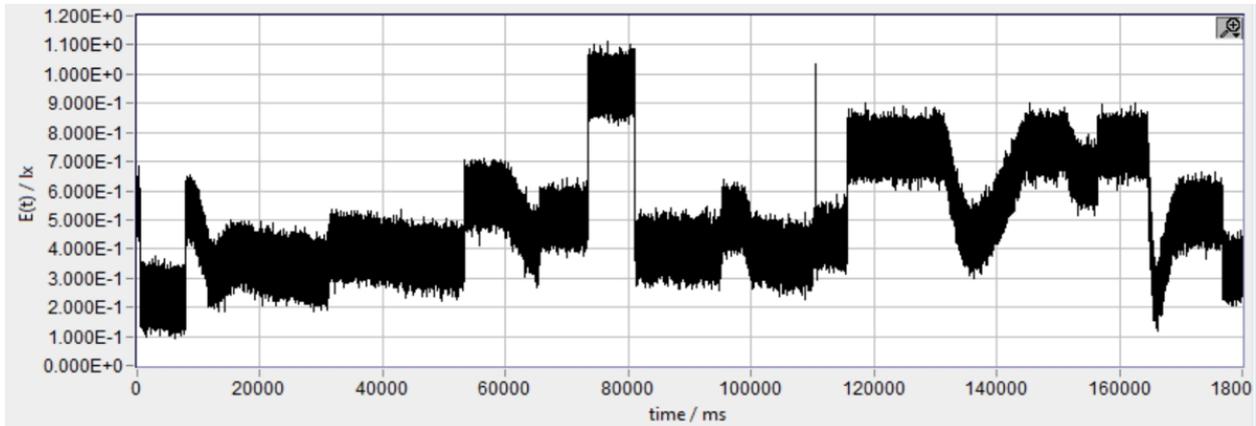


Figure 9. Evolution de l'éclairage lumineux (lux) dans le plan de l'œil au cours du temps pendant les 180 secondes d'acquisition.

On obtient par calcul les grandeurs suivantes :

Séquence dynamique Tikino®			
P_{st}^{LM}	Eclairage maximal dans le plan de l'œil	Eclairage minimal dans le plan de l'œil	Moyenne temporelle de l'éclairage dans le plan de l'œil
11.5	1.1 lux	0.1 lux	0.5 lux

6.3.2. RECHERCHE ET IDENTIFICATION DE SEQUENCE DE FLASHES

Aucune séquence comportant des flashes n'a été identifiée dans le contenu Tikino® analysé. Le contenu Tikino® analysé est conforme aux recommandations internationales concernant la protection des personnes souffrants de photo-épilepsie.

6.4. MESURES SUR LA TABLETTE iPad2

La tablette est positionnée à 30 cm des appareils de mesure afin d'être dans une situation représentative de l'usage réel d'une tablette par des jeunes enfants. Cet usage typique correspond à l'observation de la tablette par un enfant assis sur un canapé ou dans son lit. L'écran de la tablette est orienté parallèlement aux plans des capteurs pour être représentatif de l'exposition réelle.

Deux types de contenu sont utilisés :

- Une image blanche uniforme et statique disponible sur YouTube.
- Une séquence du dessin animé « Les Pyjamasques » saison 3, épisode 1, intitulée « Yoyo et le Rayon Lunaire » disponible sur YouTube et visionnée le 4 août 2022.

Rapport d'étude n° FR22CHARAY-12642

6.4.1. IMAGE BLANCHE STATIQUE iPad2

La Figure 10 indique les variations temporelles de l'éclairement dans le plan de l'œil pendant 180 secondes d'acquisition sur l'image blanche statique.

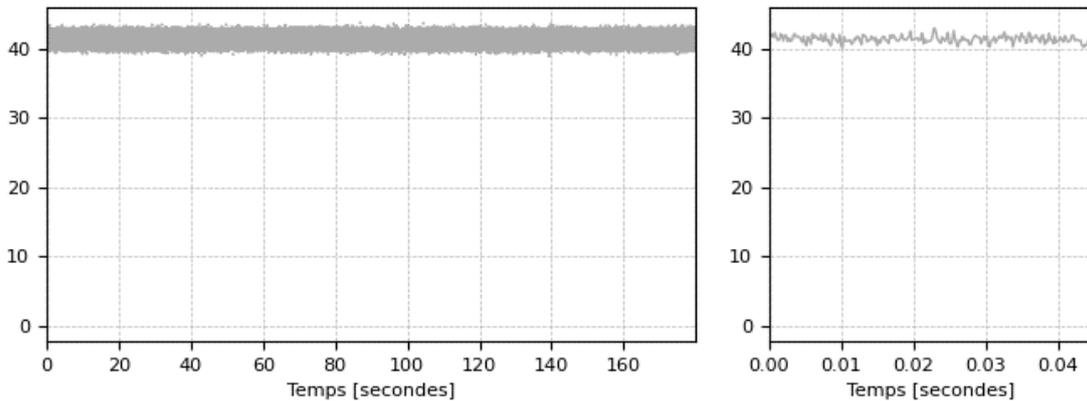


Figure 10. Evolution de l'éclairement lumineux (lux) dans le plan de l'œil au cours du temps (le graphique de droite est un agrandissement montrant l'allure du signal lumineux pendant 45 ms).

La Figure 11 représente le spectre du rayonnement lumineux de l'image blanche statique.

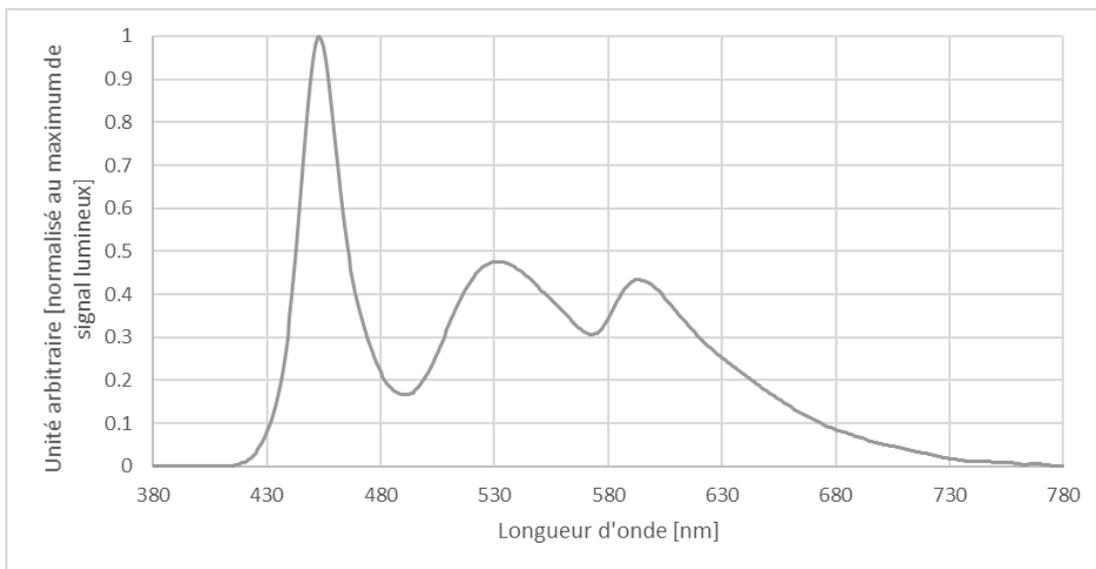


Figure 11. Spectre de l'image blanche statique de l'iPad2.

On obtient par calcul les grandeurs suivantes :

Image blanche statique iPad2				
P_{st}^{LM}	Eclairement m-EDI	Eclairement dans le plan de l'œil	Luminance moyenne de l'image blanche	Température de couleur mesurée dans le plan de l'œil
0.4	36.3 lux	41 lux	230 cd/m ²	6787 K

Rapport d'étude n° FR22CHARAY-12642

Un enregistrement de 180 secondes est effectué sur l'image dynamique. L'enregistrement débute à 0:00 sec et se termine à 03:00 sec (Figure 12).



Figure 12. Extrait de la vidéo « Pyjamasques » lors de l'acquisition du signal lumineux au cours du temps.

Les variations temporelles de l'éclairage lumineux sont représentées dans la Figure 9.

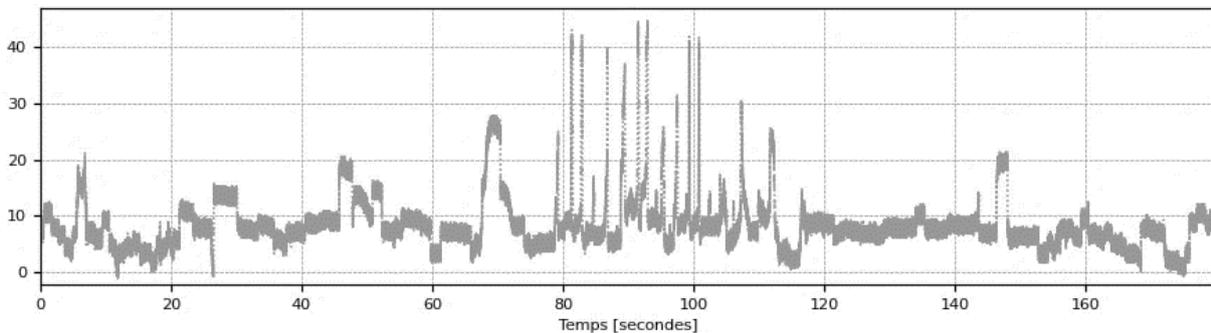


Figure 13. Evolution de l'éclairage lumineux (lux) dans le plan de l'œil au cours du temps pendant les 180 secondes d'acquisition.

On obtient par calcul les grandeurs suivantes :

Séquence dynamique iPad2			
P_{st}^{LM}	Eclairage maximal dans le plan de l'œil	Eclairage minimal dans le plan de l'œil	Moyenne temporelle de l'éclairage dans le plan de l'œil
102.8	44.8 lux	0 lux	8.1 lux

Rapport d'étude n° FR22CHARAY-12642

7. RECAPITULATIF DES RESULTATS DE MESURES

Les résultats de mesures sont résumés dans le Tableau 2.

		Tikino®	Tablette iPad2
Image blanche statique uniforme	Luminance de l'image	7 cd/m ²	230 cd/m ²
	Température de couleur mesurée dans le plan de l'œil	6682 K	6787 K
	Indice P _{st} ^{LM}	0.4	0.4
	Eclairage m-EDI	1.5 lx	36.3 lx
	Eclairage dans le plan de l'œil	1.6 lx	41 lx
Séquence vidéo de 3 minutes	Moyenne temporelle de l'éclairage dans le plan de l'œil	0.5 lx	8.1 lx
	Indice P _{st} ^{LM}	11.5	102.8

Tableau 2. Résumé des résultats de mesures

8. INTERPRETATION DES RESULTATS DE MESURES

8.1. EFFETS SUR L'HORLOGE BIOLOGIQUE ET LE RYTHME CIRCADIEN

La stimulation de l'horloge biologique, évaluée par l'éclairage m-EDI, mesurée sur le projecteur Tikino® est environ **24 fois plus faible** que celle mesurée sur la tablette testée. L'éclairage m-EDI est égal à 1.5 lux pour Tikino®, contre 36.8 lux pour la tablette.

L'éclairage m-EDI lié à l'usage du projecteur Tikino® respecte la recommandation d'exposition lumineuse pendant la soirée (m-EDI maximal recommandé égal à 10 lux).

D'après la méta-analyse publiée dans la référence (Brown et al. 2022), la valeur d'éclairage m-EDI de 1.5 lux est associée à une réponse du système circadien nulle ou très faible :

- Le pourcentage de suppression de la sécrétion de mélatonine qui résulte d'une exposition lumineuse à ce niveau pendant 2 h est de (5 ± 5) %.
- Le déphase de l'horloge biologique qui en résulte est d'environ (10 ± 10) min.

Dans le cas de la tablette testée, la valeur d'éclairage m-EDI de 36.8 lux est associée à une réponse non nulle du système circadien :

- Le pourcentage de suppression de la sécrétion de mélatonine qui résulte d'une exposition lumineuse à ce niveau pendant 2 h est de (50 ± 5) %.
- Le déphase de l'horloge biologique qui en résulte est d'environ (50 ± 10) min.

Note : Les pourcentages de suppression de la sécrétion de mélatonine et les déphasages de l'horloge biologique évalués ci-dessus reflètent la réponse moyenne de la population générale.

Rapport d'étude n° FR22CHARAY-12642

8.2. EFFETS SUR LA STIMULATION VISUELLE

L'intensité de la stimulation visuelle due aux variations temporelles de lumière (indice P_{st}^{LM}) mesurée sur le projecteur Tikino® diffusant une séquence propre à ce projecteur est environ **9 fois plus faible** que celle mesurée sur la tablette testée diffusant un dessin animé disponible sur YouTube.

8.3. EFFETS SUR LE DECLenchement DE CRISES D'EPILEPSIE

Aucune séquence comportant des flashes n'a été identifiée dans le contenu Tikino® analysé. Le contenu Tikino® analysé est **conforme** aux recommandations internationales concernant la protection des personnes souffrants de photo-épilepsie.

Rapport d'étude n° FR22CHARAY-12642

Fin du rapport