

Chloé Gauvin-Ndiaye
Sciences de la nature et Musique
groupe 2205

Réalisation des affiches et des spectres normalisés pour le kiosque

Rapport de laboratoire présenté à
Mme Johanne Roby
Département de Chimie
pour le cours
Intégration en sciences - Chimie

Cégep de Sherbrooke
21 mai 2014

Résumé

Dans le cadre du projet de recherche au collégial de Johanne Roby sur la pollution lumineuse, le sous-groupe d'étudiants et étudiantes délégué à la vulgarisation de la thématique devait monter un kiosque. La réalisation du kiosque incluait tant des aspects théoriques (la vulgarisation de la thématique) que des aspects esthétiques (la présentation du kiosque) et techniques (les divers démonstrateurs). Le kiosque a ainsi pu être présenté lors de divers congrès afin de vulgariser la thématique de la pollution lumineuse et de ses impacts, principalement sur la santé humaine.

Contexte et Fondements

Le cycle circadien

Comme toutes les autres formes de vie sur Terre, les êtres humains ont connu des adaptations évolutives liées au cycle d'alternance entre lumière et obscurité induit par la rotation de la planète. Les êtres humains sont des animaux diurnes, ce qui signifie qu'ils mènent leurs activités le jour et consacrent normalement la nuit au sommeil. Certaines caractéristiques physiologiques des humains découlent directement de cette adaptation à l'alternance lumière-obscurité, comme l'incapacité de voir correctement dans la noirceur.

Le cycle circadien est le système physiologique que l'on peut comparer à une « horloge biologique ». En effet, le cycle circadien régule une foule de processus physiologiques selon un rythme d'environ 24h, au terme duquel le cycle se resynchronise (Stevens et al). Par exemple, l'une des conséquences directes de cette « boucle » est la présence nocturne et l'absence diurne de la mélatonine, une hormone qui permet entre autres d'induire le sommeil (Blask et al). La synchronisation du cycle circadien avec l'environnement se fait grâce à l'exposition à la lumière. En effet, il a été démontré que la lumière a un impact direct sur des cellules photosensibles de la rétine contenant la mélanopsine. La mélanopsine est le principal photorécepteur permettant de transmettre l'information lumineuse au système circadien. À partir de la mélanopsine, l'information lumineuse est envoyée au noyau suprachiasmatique (NSC). Cette structure de l'hypothalamus est par la suite responsable de l'envoi de messages hormonaux et neuronaux aux organes et tissus afin que l'organisme entier soit synchronisé selon les rythmes circadiens (Stevens et al).

Le cycle circadien a un rôle de régulation. En effet, une dizaine de gènes « horloges » sont affectés par le cycle circadien. Malgré leur nombre réduit, les gènes horloges sont responsables de l'expression d'approximativement 10% du génome entier chez l'être humain (Stevens et al). L'impact de l'horloge biologique sur les tissus et organes de l'organisme est donc significatif. Plusieurs hormones dépendent du cycle circadien, comme la mélatonine et le cortisol. Plusieurs autres processus physiologiques sont régulés par l'horloge biologique, comme le sommeil, le métabolisme des glucides et lipides ou la température corporelle.

La pollution lumineuse selon l'astronomie et la biologie

Depuis l'avènement de l'électricité au XXème siècle, un changement environnemental particulier s'est produit : l'éclairage la nuit. Les premières personnes qui se sont intéressées au phénomène de la pollution lumineuse sont les astronomes, qui ont remarqué la disparition progressive du ciel étoilé. C'est dans cet ordre d'idée que s'est tenue une rencontre internationale à La Palma en Espagne, en 2007, dont le but principal était d'attirer l'attention sur l'impact de la lumière artificielle la nuit sur la visibilité des étoiles. La pollution lumineuse y a été décrite comme étant un excès de lumière la nuit qui éclaircit le ciel nocturne. La pollution lumineuse a ainsi une définition officiellement établie par les astronomes et est un sujet de préoccupation parmi cette communauté scientifique depuis déjà plusieurs années.

Du côté des biologistes et de la recherche médicale, il est possible de constater que les conséquences de la pollution lumineuse sur la santé des êtres humains et des autres animaux sont plus méconnues. Si des études empiriques concernant l'impact de la lumière la nuit sur la santé humaine ont été menées dès 1980, celles-ci ne concernaient que les travailleurs de nuit. Par conséquent, la perception de l'impact de la pollution lumineuse sur la santé humaine était restreinte, comme s'il ne s'agissait que d'un problème visant certains professionnels. Une rencontre de l'OMS en 2007 a d'ailleurs catégorisé le travail de nuit comme étant un facteur de risque possible pour le cancer du sein. Toutefois, on ne liait pas encore la présence de lumière la nuit en elle-même avec le cancer : le lien ne concernait que le travail de nuit. Pourtant, déjà en 2005, un groupe de biologistes ont publié un livre dans lequel ils ont émis l'hypothèse selon laquelle la lumière inhibe la production de la mélatonine et, par conséquent, dérègle le cycle circadien chez les mammifères. (Haim et Portnov)

La lumière la nuit, la mélatonine et le dérèglement du cycle circadien

L'éclairage électrique cause notamment une augmentation de quatre à sept heures d'éclaircissement chaque jour (Fonken et Nelson). Cela amène d'évidentes perturbations du cycle circadien chez les êtres humains. En effet, le cycle circadien n'est pas seulement influencé par la lumière du soleil : il est également influencé par l'éclairage artificiel.

L'impact le plus flagrant de la pollution lumineuse sur le cycle circadien est la suppression de la mélatonine. De fait, la mélatonine, ou hormone du sommeil, est habituellement produite la nuit, en l'absence de lumière. Or, la lumière artificielle la nuit agit directement sur la mélanopsine en envoyant un message d'éveil au NSC. Cela a pour conséquence de supprimer ou de réduire considérablement la production de mélatonine, d'augmenter la sensation d'éveil et de retarder le sommeil. Cette perturbation du cycle circadien n'affecte toutefois pas uniquement le sommeil. En effet, tel qu'illustré plus tôt, le système circadien régule la synchronisation de l'ensemble des tissus et organes du corps et a un impact sur une multitude de processus métaboliques. D'autres conséquences directes de la pollution lumineuse sur la santé humaine ont été constatées au fil de plusieurs études : impacts sur le cancer du sein (et autres cancers hormono-dépendants), sur la dépression, sur l'obésité, sur le système immunitaire, etc. (Fonken et Nelson).

Longueurs d'ondes émises selon le type d'éclairage

Toutes les formes d'éclairage artificiel n'ont pas le même impact. En effet, des recherches ont souligné que plus l'intensité de la lumière est forte et plus grande est la diminution de la production de la mélatonine. De façon similaire, la longueur d'onde de la lumière observée a une influence sur la suppression de la mélatonine. Cela est dû au fait que la rétine est particulièrement sensible aux longueurs d'ondes correspondant à la lumière bleue (440-480 nm). Ainsi, plus le spectre de la lumière possède une forte intensité dans le bleu et plus la mélatonine est supprimée. Les sources lumineuses que l'on retrouve dans les foyers peuvent toutes influencer le cycle circadien : ampoules domestiques, écrans d'ordinateurs, téléviseurs, etc. L'impact de la lumière provenant des appareils électroniques est particulièrement grand, puisque la longueur d'onde correspondant au bleu y est généralement très forte (Stevens et al).

Il est ainsi très intéressant de comparer les spectres des longueurs d'ondes émises par les différentes sources d'éclairage, domestique ou urbain. Cela nous permet de constater que certaines sources lumineuses, telles les diodes à électroluminescences (DEL) ou les ampoules fluocompactes, possèdent une grande intensité d'émission de longueur d'onde correspondant au bleu. En comparaison, l'ampoule à incandescence, qui était autrefois très utilisée et qui est aujourd'hui de moins en moins populaire, a un spectre dans lequel le bleu est presque absent.

Définition biologique de la pollution lumineuse

Ainsi, il est tout à fait possible de relier la lumière artificielle, la sécrétion de mélatonine et certains troubles de santé reliés au cycle circadien. Dans leur livre *Light Pollution as a New Risk Factor for Human Breast and Prostate Cancers*, Haim et Portnov ont désiré établir une définition précise de la pollution lumineuse d'un point de vue biologique, en addition à la définition du phénomène sous l'angle de l'astronomie. La définition suggérée est la suivante :

Light pollution is light emission from artificial sources given in the dark phase of the 24 h cycle which wavelength and/or intensity can suppress pineal MLT production, disrupt daily rhythms and initiate a stress response.

Méthodologie

Grandes affiches et posters

L'une des faces du cube était destinée à être recouverte de grandes affiches afin d'illustrer la thématique principale du kiosque, et ce de façon esthétique. Après plusieurs discussions et réflexions, il a été décidé que trois affiches seraient produites :

- 1) Représentation du ciel étoilé (29 pouces de hauteur, 22,25 pouces de largeur)
- 2) Ville de Sherbrooke (éclairage modéré) (19,5 pouces de hauteur, 22,25 pouces de largeur)

3) Ville de New York (surillumination) (19,5 pouces de hauteur, 22,25 pouces de largeur)

Les dimensions des affiches ont été choisies afin de couvrir l'entièreté de la surface disponible, tout en faisant en sorte que la plus grande affiche (ciel étoilé) recouvre la ligne de séparation entre les deux plaques de plexiglas du cube, que nous trouvions inesthétique. La photo choisie pour représenter le ciel étoilé est une photo de Rémi Boucher, prise à l'Astrolab du Mont-Mégantic. Les photos des deux villes ont été prises par Johanne Roby. Les retouches des photos ont été faites exclusivement sur Photoshop. Les modifications apportées ont été principalement le recadrage, la balance des couleurs ainsi que l'ajout de texte. Les textes choisis sont les suivants :

- 1) Le ciel étoilé : Un patrimoine naturel en voie de disparition
- 2) Éclairage modéré : Un éclairage de plus en plus responsable
- 3) Surillumination : Perte inutile de lumière

La police utilisée pour chacune de ces images est Orator Std. Elle a été utilisée sur plusieurs autres images du cube afin de conserver une uniformité dans l'esthétique.

L'impression des grandes affiches a d'abord été faite chez *Bureau en Gros*, mais la qualité de l'impression laissait à désirer. En effet, le service non-personnalisé ne nous a pas permis de remarquer que la balance des couleurs n'était pas la même sur l'ordinateur et à l'impression. Nous avons par la suite fait affaire avec Gilles Blais d'*Imacom*, qui nous a offert un service de grande qualité et une disponibilité exemplaire. Il a su répondre à nos questions et a produit des affiches de grande qualité, en s'assurant que les couleurs à l'impression correspondaient aux fichiers envoyés. Ainsi, pour un même prix, nous avons obtenu des images de bien meilleure qualité avec *Imacom*, en comparaison avec *Bureau en Gros*.

D'autres images ont été travaillées sur Photoshop afin de représenter divers enjeux liés à la pollution lumineuse. Toutes les images, affiches et posters se retrouvent dans le dossier Dropbox dont le lien se trouve en annexe.

Spectres

Nous désirions comparer les spectres de diverses sources d'éclairage avec rigueur. Pour ce faire, nous avons normalisé les spectres de diverses ampoules afin de les avoir à lumens constants. De cette manière, tous les spectres se réfèrent à une même réalité et peuvent être comparés entre eux. La normalisation des spectres a été faite avec l'outil de calcul de Libre Office et la finalisation des graphiques a été réalisée avec Microsoft Excel.

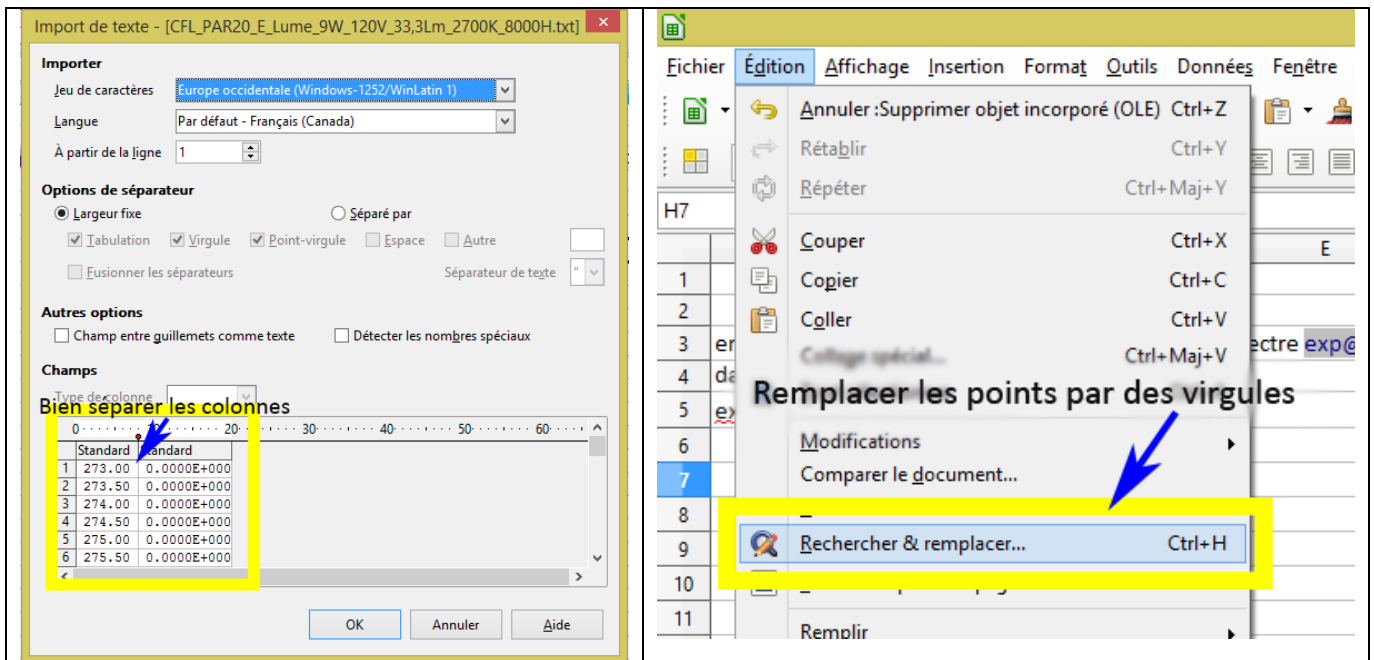
Démarche de normalisation des spectres :

1) Entrer le spectre expérimental à normaliser dans la feuille de calcul.

Le fichier de provenance des spectres est habituellement un fichier .txt. Il est possible d'ouvrir ce type de fichier avec Libre Office Calcul en faisant bien attention à séparer convenablement les colonnes de longueur d'ondes et les valeurs d'intensité. De plus, il

faut veiller à remplacer les points (.) par des virgules (,) avec l’outil « Rechercher et Remplacer », sans quoi le logiciel sera incapable d’effectuer correctement les calculs.

Figure 1. Importation du fichier texte et remplacement des points par des virgules



2) Récupérer les données sur la plage de longueurs d’ondes 300 nm – 900nm, avec saut de 1 nm.

Cette opération est faite avec la fonction « RECHERCHEV(valeur_recherchée; table; index_colonne; mode) », où *valeur_recherchée* est la longueur d’onde, *table* est la matrice incluant la longueur d’onde et le spectre expérimental, *index_colonne* = 2 renvoie à la colonne à partir de laquelle la valeur doit être rapportée (ici, la deuxième colonne correspond au spectre expérimental) *mode* = 0 implique que seule la première correspondance est utilisée.

Figure 2. Identification des colonnes de la feuille de calculs

5) Additionner les valeurs obtenues par la multiplication précédente

Une constante est alors obtenue. Cette constante correspond à l'intensité de l'ampoule par rapport à la rétine.

6) Diviser le spectre expérimental par la constante

Le nouveau spectre obtenu est normalisé et tient compte de l'impact relatif de la lampe sur la rétine.

Figure 4. Normalisation du spectre expérimental

spectre exp@1nm X spectre photopique	expé X Cte I (G4)
4,3006496055	
	normalise
	0
	0
Additionner toutes les	0
valeurs des spectres multipliés	0
	0
Diviser le spectre exp.	0
par la constante	0

La feuille de calculs se retrouve en annexe 2.

Le nouveau spectre obtenu est rapporté dans une autre feuille de calcul Libre Office en ne collant que les valeurs (et non les formules, ce qui fausserait évidemment le spectre). Il est par la suite ramené à Excel. Des graphiques sont créés à partir d'Excel et sont insérés dans des feuilles de graphiques individuelles. Pour les spectres des ampoules, les échelles utilisées sont les suivantes :

en x, de 375 nm à 750 nm, avec échelle de 25 nm;

en y, de 0 à 0,009, avec échelle de 0,001.

Du côté de l'esthétique, le remplissage de la zone de graphique est noir et le texte est blanc. Le remplissage de la zone de traçage est une image de dégradé représentant le spectre visible. Les graphiques sont par la suite exportés en PDF et retravaillés dans Photoshop. Ce logiciel de traitement d'image permet de sélectionner avec l'outil de sélection « Baguette magique » la portion du dégradé de couleur qui se trouve à l'extérieur de la courbe. Cette portion de dégradé est supprimée, jusqu'à ce que tout ce qui se trouve au-dessus de la courbe dans la zone de traçage soit transparent.

Nous obtenons ici la version des graphiques utilisée dans la « Boîte Spectrale », un démonstrateur qui regroupe tous les spectres. Ce démonstrateur permet de comparer les

spectres de diverses ampoules. L'impression des spectres se fait sur acétate afin de pouvoir superposer les spectres pour bien voir les différences entre les courbes. Il est nécessaire d'enregistrer les images dans un format qui tolère la transparence, comme le PNG.

Nous poursuivons avec la seconde version des spectres, qui cette fois a un fond noir. Il suffit d'utiliser l'outil « pot de peinture » (ou remplissage) et de remplir la zone de transparence avec un fond noir. Cette version des spectres est utile lors de présentations Powerpoint ou pour la diffusion électronique des spectres, puisqu'elle est plus esthétique que la version avec transparence. Elle ne peut toutefois pas être utilisée pour la « Boîte Spectrale » puisque le fond noir rend difficile la superposition des spectres.

En plus des spectres des ampoules, les spectres suivants ont été faits : vision photopique, vision scotopique, chlorophylle et mélanopsine. Ces spectres n'ont pas été normalisés, mais ils permettent tout de même de déduire avec efficacité l'impact d'une certaine forme d'éclairage. En effet, les spectres classés « Autres » correspondent aux longueurs d'ondes absorbées par ces divers éléments. On peut ainsi confirmer la sensibilité de la mélanopsine à la longueur d'onde bleue. Lorsqu'on y superpose le spectre d'une DEL blanc froid et celui d'une ampoule halogène, il est facile de déterminer laquelle des deux sources d'éclairage a le plus grand impact sur la mélanopsine.

Présentation des résultats

Images, affiches et posters

Toutes les images se trouvent dans le dossier Dropbox présenté en annexe 1.

Spectres

Tous les spectres se trouvent dans le dossier Dropbox présenté en annexe 3.

Prezi

Une présentation *Prezi* a été réalisée avec les images modifiées sur Photoshop et les spectres réalisés selon la méthode décrite plutôt. Une voix « off » a été rajoutée à chacune des étapes. Le texte récité dans la présentation est le cadre théorique de ce rapport ainsi qu'une portion de la discussion. Le lien guidant à cette présentation est présenté en annexe 4.

Congrès

Le kiosque a été présenté lors du congrès de l'AQME à Victoriaville ainsi qu'au 24H des sciences du musée des sciences de la nature de Sherbrooke.

Discussion

Images, affiches et posters

Les grandes affiches représentant le ciel étoilé, la ville de New York et la ville de Sherbrooke donnent au cube un joli aspect. De plus, la présence de posters qui explicitent la démarche des groupes « Flore » et « Santé humaine » offrent une bonne visibilité à l'aspect expérimental du projet. Cela confère au kiosque une valeur ajoutée, puisque l'on peut constater facilement que le projet n'est pas que théorique et qu'il s'appuie également sur des démarches expérimentales claires et réelles. Afin d'améliorer la présentation du cube, il serait intéressant d'uniformiser la présentation des divers posters. En effet, les posters réalisés par les différentes équipes du groupe de recherche ont toutes des couleurs, polices et formats différents, ce qui confère au cube un visuel quelque peu dépareillé.

L'idée de représenter les différents impacts de la pollution lumineuse sur la santé humaine par des images était très intéressante. Toutefois, les images qui ont été travaillées sur Photoshop n'ont finalement pas été incluses au cube. Une amélioration possible au cube serait de réaliser une représentation visuelle des troubles de santé liés à la lumière la nuit, tel que prévu initialement. Pour ce faire, il serait peut-être plus efficace d'acheter des images provenant de banques d'images sur Internet plutôt que de prendre des photos par nous-mêmes. À titre d'exemple, nous avons tenté de prendre une photo qui devait représenter le travail de nuit et le cancer du sein. À cause de problèmes logistiques et de la complexité liée à l'accès à un couloir d'hôpital idéal et à une infirmière, nous avons abandonné le projet. Des images correspondant très bien à ce que nous cherchions existent sur Internet. Reste à voir s'il est possible d'allouer un certain budget à l'achat de photos, et si l'ajout d'images thématiques sur le cube rendrait réellement le kiosque plus efficace.

Une autre amélioration possible serait de trouver une façon plus efficace afin que les images soient fixées sur le cube. Nous avons utilisé du ruban adhésif double-face, ce qui est assez solide, mais non-réutilisable. Il serait intéressant de tester une méthode à base d'aimants ou de velcros. Cela permettrait sans doute de rendre le cube encore plus multifonctionnel, tout en facilitant l'installation des affiches.

Les prochaines cohortes pourront également travailler à inclure davantage les impacts sur la faune et la flore dans le kiosque. Ces aspects sont assez absents puisque nous nous sommes concentrés à imager les conséquences de la lumière la nuit sur le ciel étoilé et sur la santé humaine.

Spectres

Les sources lumineuses que l'on retrouve dans les foyers peuvent toutes influencer le cycle circadien. Ainsi, il est intéressant de s'attarder aux spectres d'émission des ampoules les plus fréquemment utilisées. Les graphiques réalisés selon la méthode détaillée plus haut nous permettent d'observer avec aisance les spectres d'émission de différentes ampoules et les

spectres d'absorption de la mélanopsine, de la chlorophylle, etc. Il est facile de comparer rapidement les spectres, puisqu'il est possible de les superposer et que les couleurs sous les courbes permettent de saisir rapidement quelles couleurs sont émises par les différents types d'éclairage.

Les ampoules fluocompactes, qu'elles soient de type blanc chaud ou blanc froid, gagnent en popularité en raison de leur rendement énergétique. Toutefois, il est possible de remarquer un pic de grande intensité d'émission de longueur d'onde correspondant au bleu dans chacun de leur spectre. Cela fait des fluocompactes des ampoules qui ont un grand potentiel d'inhibition de la production de la mélatonine.

En comparaison, les spectres des ampoules halogènes et incandescentes présentent une grande intensité dans le rouge, contre une faible intensité dans le bleu. Ces ampoules ne sont toutefois pas les plus populaires : Les halogènes sont assez coûteuses, malgré leur bonne durée de vie. Les ampoules à incandescence, quant à elles, sont de moins en moins utilisées en raison de leur rendement énergétique plutôt mauvais. Leur faible durée de vie et l'énergie qu'elles consomment font d'elles des ampoules ayant une empreinte environnementale assez grande, si bien que de nombreux pays, dont le Canada, ont adopté des réglementations visant à interdire leur production et leur vente.

De nouvelles formes d'éclairage se popularisent également : les DEL. Ces ampoules consomment peu d'énergie et durent très longtemps, ce qui les rend très intéressantes pour l'industrie. Toutefois, une problématique similaire à celle des fluocompactes existe : les DEL possèdent une forte intensité de longueur d'onde bleue. Elles peuvent ainsi apporter de fortes perturbations du cycle circadien. Lorsque l'on filtre les DEL, on peut toutefois remarquer que l'intensité du bleu émis est beaucoup moins grande.

L'éclairage extérieur est lui aussi préoccupant, considérant l'impact probable de la lumière intrusive sur la santé. Les ampoules de type HPS, qui produisent un éclairage très jaune, ont un spectre dans lequel le bleu est presque absent. En comparaison, les ampoules à halogénures métalliques, dont l'éclairage très intense est souvent apprécié dans les stades de football, émettent une forte intensité de bleu. Plusieurs villes voient dans l'éclairage à DEL de futures économies d'argent, puisque le rendement énergétique de ces ampoules est très bon. Toutefois, tel que vu précédemment, ce type d'éclairage a un impact non-négligeable sur la production de mélatonine et sur le cycle circadien en général.

En somme, si l'on en revient à la définition de la pollution lumineuse d'un point de vue biologique, il semble évident que de choisir intelligemment une ampoule ne se limite pas au coût ni au rendement énergétique. Il est également important de déterminer les possibles impacts sur la santé qu'ont nos habitudes d'éclairage.

Si la boîte spectrale est très jolie, il est cependant un peu difficile de retrouver facilement les spectres que l'on cherche à l'intérieur, puisqu'il est presque impossible de conserver un système de rangement efficace. Il pourrait être intéressant de vérifier si un autre système de rangement

pour les spectres peut être aussi efficace visuellement, tout en nous permettant de trouver rapidement ce que l'on cherche. Par exemple, nous pourrions relier les spectres entre eux et ajouter des séparateurs entre les différentes sections. Ce système permettrait de conserver la boîte spectrale tout en facilitant la recherche. Il serait également nécessaire, afin d'améliorer la boîte spectrale, d'y ajouter le spectre du soleil.

Congrès

Lors du congrès de l'AQME, nous avons présenté le kiosque pour la toute première fois. Nous avons ainsi pu constater que les démonstrateurs sont très efficaces et qu'ils permettent d'expliquer de façon simple et précise l'impact de la lumière sur la vision ainsi que le fonctionnement des DELs.

L'un des points à améliorer serait d'ajouter du matériel que nous pouvons facilement donner aux personnes qui visitent le kiosque. Par exemple, nous pourrions donner une version réduite du tableau des ampoules et des MSI, ou un dépliant récapitulatif qui contient un résumé de la présentation. Aussi, il serait intéressant d'offrir des cartes de visite avec un lien vers la page Facebook du groupe de recherche, afin que les personnes intéressées puissent obtenir un accès facile à davantage d'information.

Aussi, le kiosque est très complet et comporte plusieurs modules fort intéressants. Toutefois, il y a peut-être un peu trop d'informations, de posters et de démonstrateurs, si bien qu'il est difficile de présenter rapidement un résumé de l'ensemble du kiosque aux personnes qui visitent le kiosque. J'ai cru remarquer, lors du congrès de l'AQME, que l'intérêt des visiteurs était très varié : certaines personnes demeuraient très longtemps intéressées par ce que nous leur présentions, tandis que plusieurs autres ne s'attardaient que quelques minutes avant de nous remercier. Il pourrait être intéressant de développer une présentation courte comportant l'essentiel du discours, à laquelle nous pouvons annexer des modules de présentation supplémentaires pour les visiteurs et visiteuses les plus motivés. Cela nécessiterait toutefois une préparation plus grande précédant les sorties du kiosque. À mon avis, la préparation est d'ailleurs l'un des points à améliorer : les divers sous-groupes du projet de recherche ne connaissaient pas vraiment les projets des autres, préalablement au congrès de l'AQME, ce qui rendait difficile l'explication de tous les aspects du kiosque. Toutefois, dans l'ensemble, il semblerait que le kiosque ait reçu plusieurs avis positifs en raison de la grande variété de sujets touchés et de la qualité des modules.

Conclusion

En conclusion, le kiosque sous sa forme actuelle comporte une variété de modules qui permettent d'expliquer plusieurs aspects de la thématique de la pollution lumineuse. Il s'agit évidemment d'un travail en constante évolution qui pourra être amélioré, bonifié et précisé par les prochaines cohortes étudiantes.

Annexe 1 – Images et grandes affiches

Les images travaillées et les grandes affiches représentant les villes et le ciel étoilé se retrouvent dans le dossier Dropbox suivant :

<https://www.dropbox.com/sh/8917kudfm969qm2/AAB6MPTwD2NcRDUy9Mywd4X2a>*

Pour chacune des images, la version .png et la version .psd sont disponibles. Les images peuvent ainsi être modifiées facilement sur Photoshop sans perdre de qualité.

Annexe 2 – Feuille de calcul pour la normalisation des spectres

La feuille de calcul utilisée afin de normaliser les spectres des diverses ampoules se trouve ici : <https://www.dropbox.com/s/yce31zow4k3hxo3/Normalisation%20des%20spectres.ods>*

Afin de normaliser un spectre, il suffit d'utiliser la méthode explicitée dans la méthodologie.

Annexe 3 – Spectres finaux

Les versions finales des spectres normalisés se trouvent ici :

<https://www.dropbox.com/sh/iw2993qxykaec4v/AABSMD8ucV1XP6z4c6mtRq5Xa>*

Le dossier « Ampoules » contient les spectres normalisés de plusieurs types d'ampoules fréquemment utilisées. Le dossier « Autres » contient les spectres de la mélanopsine, vision photopique, etc. Le dossier « Démonstrateur DEL » contient les spectres aux courbes maximisées pour le démonstrateur à DELs. Chaque spectre existe en trois versions : la version PDF initiale, la version avec fond transparent et la version avec fond noir.

Annexe 4 – Présentation *Prezi*

La présentation *Prezi* faite à partir des images modifiées et des spectres normalisés est disponible ici : http://prezi.com/etrwkr6scft/?utm_campaign=share&utm_medium=copy

Le texte cité est celui du cadre théorique ainsi que la portion « Spectres » de la discussion du présent rapport.

*Si les liens ne s'ouvrent pas correctement en cliquant dessus, il suffit de les copier/coller dans un navigateur.

Médiagraphie

Blask et al, *Circadian regulation of molecular, dietary, and metabolic signaling mechanisms of human breast cancer growth by the nocturnal melatonin signal and the consequences of its disruption by light at night*, Journal of Pineal Research, 2011.

Cajochen C et al. *Evening exposure to a light-emitting diodes (LED)-backlit computer screen affects circadian physiology and cognitive performance*, J Appl Physiol 110: 1432-1438, 2011.

Fonken et Nelson, *Illuminating the deleterious effects of light at night*, F1000 Medicine Reports, 2011.

Haim et Portnov, *Light Pollution as a New Risk Factor for Human Breast and Prostate Cancers*, Springer, 2013.

Stevens et al, *Breast Cancer and Circadian Disruption From Electric Lighting in the Modern World*, American Cancer Society, 2013.