

LAISSEZ LES ÉTOILES NOUS ÉBLOUIR

Olivier Gayraud, Gaillac

L'article suivant a pour objectif de décrire le déroulement des activités menées au sein d'un club d'astronomie auprès d'une vingtaine d'élèves de classes de 6^e à la 4^e quant à la protection du ciel étoilé. En souhaitant que cet article et le travail des élèves participent à laisser les étoiles nous éblouir, pour toujours.

« Illustrer la science » est un projet collaboratif de culture scientifique et technique piloté par la Délégation académique à l'éducation artistique et culturelle d'Occitanie. Le thème de cette année visait des objectifs de développement durable, mettant ainsi en avant l'année internationale des sciences fondamentales au service du développement durable 2022. L'Assemblée générale des Nations unies a décliné sa vision du futur en dix-sept objectifs de développement durable (ODD) vers lesquels nous devons tendre collectivement tous, nécessitant l'apport de la science et de la technologie. Dix-huit établissements scolaires ont participé à ce projet, dont les élèves du club d'astronomie de Saint-Joseph, qui se sont emparés du neuvième ODD : industrie, innovation et infrastructure, thème technologie et procédés respectueux de l'environnement. Notre projet était sur les rails ; nous allions étudier l'impact de la pollution lumineuse sur l'environnement et les moyens de remédier à ses effets négatifs.

Mais avant toute recherche et analyse, il était nécessaire d'ancrer dans la réalité notre réflexion par une observation du ciel. C'est ainsi que dans la soirée du 15 octobre 2021, nous nous sommes réunis chez des parents d'élèves sur les bords du village de Castelnaud-de-Montmiral. L'observation dans le crépuscule civil d'un quartier de Vénus nous a permis de marcher dans les pas de Galilée. Puis en tournant nos deux télescopes Dobson en direction de Jupiter, nous avons constaté à notre tour qu'il existait un « autre centre dans l'Univers », mettant un coup fatal aux thèses d'Aristote. Cerise sur le gâteau, ou plutôt satellite sur planète, nous avons observé le passage de l'ombre d'Io devant le disque de Jupiter. Un peu plus à l'ouest sur l'écliptique, la vision des anneaux de Saturne à travers l'oculaire grossissant 70 fois nous a émerveillés. Le crépuscule astronomique étant atteint, c'est guidé par un laser vert que les élèves ont pu projeter mentalement les astérismes des principales constellations de nos cherche-étoiles sur la voûte céleste. Quel plaisir d'apprendre sous les étoiles ! Cette première sortie a permis de développer le sens de l'observation, de donner une explication rationnelle aux phénomènes astronomiques. Elle est aussi le point de départ d'autres activités de calculs et de

construction de maquettes. Pour toutes ces raisons et bien d'autres encore, il nous faut à tout prix préserver le ciel nocturne.

Tout succès d'une opération réside dans la connaissance de son ennemi. Nous devons donc à présent définir ce qu'est la pollution lumineuse. Pour cela, nous avons utilisé l'introduction du m@gistère¹ *Enjeux de préservation du ciel et de l'environnement nocturnes*². Dans l'activité « Quelques impacts de la pollution lumineuse » se trouvent neuf cartes retournables en cliquant dessus. Il faut alors trouver le lien entre l'indice proposé sous forme d'une photographie au recto et l'impact de la pollution lumineuse. L'hypothèse est vérifiée en retournant la carte et en lisant le texte du verso.

Si les élèves ont trouvé plusieurs explications, et souvent pertinentes quant aux cartes avec une photo d'oiseaux, d'arbre, de papillon de nuit, de grenouille, d'observatoire, de chauve-souris et de rêveur, pour d'autres ils ont dû donner leur langue au chat. Un « doudou » d'enfant, un stéthoscope semblent n'avoir aucun lien avec la pollution lumineuse. Ce fut l'occasion de découvrir le rôle essentiel de la lumière naturelle sur les rythmes biologiques et le système hormonal ainsi que les effets négatifs sur la santé humaine de l'éclairage artificiel. Cette activité a remporté un vif succès auprès des élèves qui ont pu rédiger leur propre définition de la pollution lumineuse : « dôme de lumière artificielle au-dessus des villes qui peut aveugler et empêcher la reproduction des êtres vivants. Cela peut nuire à la Vie en général ».

Ayant pris conscience que ce problème était l'affaire de tous, les élèves m'ont demandé s'ils pouvaient en parler en classe. C'est avec l'aide de Mme Claire Munier, professeur de français, que la suite du travail a été menée. Les quatre BD suivantes ont été projetées à deux classes de 6^e et deux classes de 5^e, mais avec des bulles vierges. Sur l'idée originale du m@gistère, un texte en lien avec l'image était distribué, les élèves devant l'exploiter afin

1 m@gistère est un dispositif de formation en ligne mis en œuvre par le ministère de l'Éducation nationale. m@gistère s'adresse en particulier aux enseignants du 1^{er} et du 2nd degré.

2 Sylvain Rondi.



Fig.1. Travaux d'écriture d'élèves de 6° et 5° ; photo de l'auteur, dessins Bdnf..

de compléter les bulles. Ce travail d'écriture a fait sens auprès des élèves qui s'y sont pleinement investis ; en voici un florilège choisi par les membres du club (figure 1).

Fort de nos nouvelles connaissances, nous devons maintenant évaluer l'impact de la pollution lumineuse dans notre propre environnement. Pour rendre rationnelle notre démarche, il est nécessaire d'établir les grandeurs caractéristiques en termes de quantité et de type de lumière, ainsi qu'établir la manière de les mesurer. La prochaine sortie du club astro sera donc exceptionnellement ... en ville !

Les espèces nocturnes (tout ou partie), représentent 30 % des vertébrés et 65 % des invertébrés. Leurs systèmes de vision sont dès lors très sensibles à la lumière directe ; un lampadaire peut être source d'éblouissement. Pour en rendre compte il faut mesurer la luminance en cd/m^2 , soit l'intensité lumineuse rapportée à la surface d'émission de la lumière³. D'après cette définition, plus la surface est petite et l'intensité grande, plus la luminance et l'éblouissement seront importants. Il apparaît donc que les systèmes d'éclairage par DEL sont particulièrement éblouissants par rapport par exemple aux lampes à décharge. Pour transformer une photographie en une image de luminance et évaluer l'éblouissement, nous avons utilisé l'application Bright Minds® App de Fusion Optix⁴. Sur la cartographie de luminance de la figure 2, nous constatons un point plus que trois fois supérieur à la luminance du ciel, produisant, tout du moins pour un œil humain, la sensation d'éblouissement.

3 Pour les unités, voir page 34.

4 Cette application gratuite a le mérite de pouvoir être installée aussi bien sur iOS que sur Android. Cependant l'étalonnage n'est pas possible.



Fig.2. Mesure de la luminance en cd/m^2 , rue Jean Jaurès, Gaillac.

Afin de mesurer la luminosité du fond de ciel nocturne, nous avons utilisé un Sky Quality Meter (SQM). Les mesures sont exprimées en magnitudes par seconde d'arc au carré, ce qui en fait une grandeur trop complexe pour les élèves du collège. Heureusement, l'échelle qui y est associée parle d'elle-même (figure 3). Nous avons ainsi mesuré au cours d'une promenade, en m/arcsec^2 les valeurs suivantes, depuis notre établissement au cœur de Gaillac jusqu'aux bords de la rivière Tarn (figure 4) :

- place de la Libération, (13,58);
- rue perpendiculaire à cette place (14,03);
- derrière le Parc de Foucaud (15,67);
- dans la descente vers le Tarn (18,29);
- et finalement au bord du Tarn (18,49).

Un simple appui sur le bouton start et la mesure apparaît. Beaucoup plus ludique fut en amont la réalisation des compte-étoiles⁵ et leur utilisation in situ. Pour des raisons pratiques nous avons utilisé la constellation de Cassiopée (figure 5), pour ce comptage⁶. Les élèves ont relevé à travers l'ouverture de l'appareil les valeurs suivantes : 4 ou 5 étoiles derrière le Parc de Foucaud et 9 aux bords du Tarn. Pour avoir une idée du nombre d'étoiles visibles au-dessus de l'horizon il suffit de multiplier par cent celui compté soit 900 aux abords de la rivière. Cette dernière valeur, associée à $18,49 \text{ m}/\text{arcsec}^2$ pour la luminosité du ciel, est en adéquation avec les valeurs issues du tableau de la figure 6. Une moyenne réalisée avec d'autres constellations aurait toutefois apporté plus de robustesse à ces mesures.

5 Cahiers Clairaut n° 145, printemps 2014 : Compteur d'étoiles, Jean-Luc Fouquet.

6 <http://clea-astro.eu/lunap/pollution-lumineuse>.

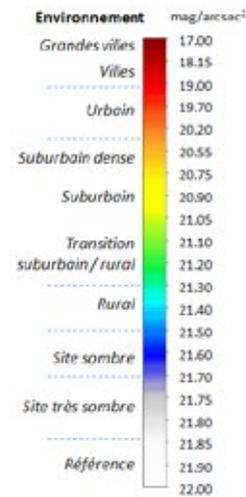


Fig.3. Échelle des couleurs d'après <https://darkskylab.com/blog.html>.

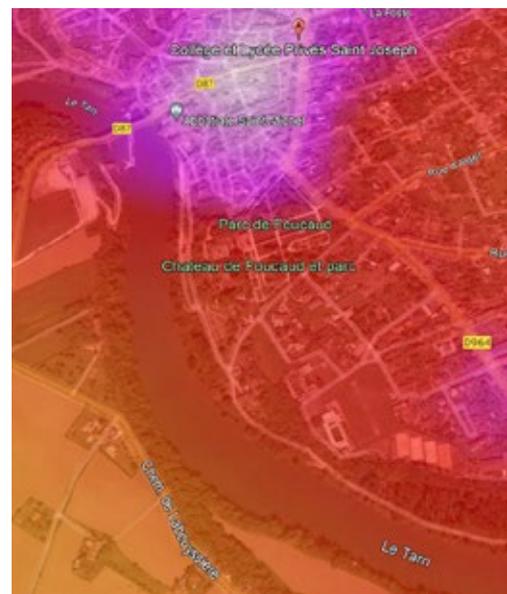


Fig.4. Promenade du collège au bord du Tarn, extrait de la carte de pollution lumineuse de la France2020 produite par le club AVEX.

Cartes : magnitude limite = 5

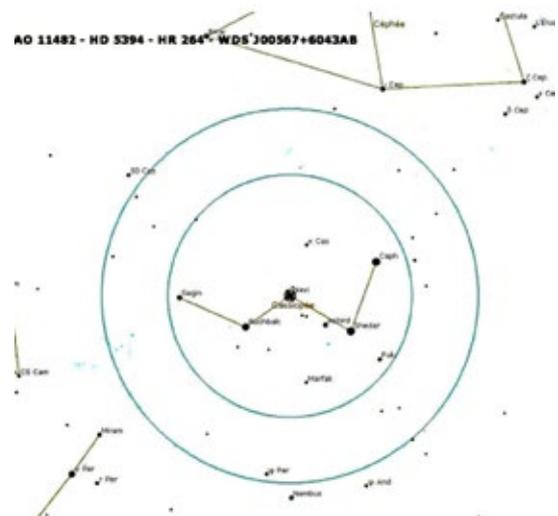


Fig.5. D'après Lunap, petite encyclopédie astronomique, entrée pollution-lumineuse. Le 16.12.21 à 19 h la Lune se trouvait à 30° de hauteur et Cassiopée à 70° . Elles étaient séparées sur le ciel de 50° .

Luminosité du ciel (non pollué=1)	Magnitude par arcsec ²	Echelle de Bortle	Magnitude des étoiles visibles à l'œil nu	Nombre d'étoiles visibles à l'œil nu	Visibilité de la Voie Lactée
1	22	2	7	5000	Très bonne
2	21	4	6	3000	Bonne
10	19	6	5	1000	Visible au zénith
100	17	8	3	100	Invisible
500	15	9	1,5	20	Invisible
1000	14	9	0,5	5	Invisible

Fig.6. Visibilité des étoiles en fonction de la pollution lumineuse. D'après La pollution lumineuse J.E. Arlot, décembre 2016 ⁷.

Nous avons déjà vu le cas du phototactisme positif, (espèces attirées par les sources de lumière), avec l'éblouissement qui extermine par exemple les insectes. Qu'en est-il pour les espèces ayant un phototactisme négatif ? Il s'agit cette fois-ci d'une luminosité ambiante qui peut morceler les habitats et stopper les activités animales, jusqu'à causer la disparition de certaines espèces⁸. La grandeur la mieux adaptée pour en rendre compte est l'éclairement (flux lumineux par surface éclairée en lumen/m² soit en lux), mesuré avec un luxmètre. Les élèves ont ainsi pu mesurer au cours de leur promenade des valeurs allant de 350 lux (figure 7) à 0 lux.



Fig.7. La mesure de l'éclairement faite en posant le luxmètre à même le trottoir a révélé une valeur de 350 lux ! La taille des élèves en avant plan donne une indication de la distance séparant le spot DEL du luxmètre. Cette valeur est à comparer à celle de 300 lux, qui assure un éclairage suffisant sur un poste de travail avec des tâches ne nécessitant pas de perception de détails⁹. Le professeur tient la fibre du spectrophotomètre, les élèves l'ordinateur portable.

⁷ <http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/images/articles/pollution-lumineuse/la-pollution-lumineuse.pdf>

⁸ D'après J.E. Arlot <http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/images/articles/pollution-lumineuse/la-pollution-lumineuse.pdf>

⁹ D'après l'INRS <file:///C:/Users/Utilisateur/Downloads/ed85.pdf>

Les lumières émises par le Soleil et par un lampadaire sont différentes. Pour mettre en évidence la composition de la lumière, nous avons eu recours à l'utilisation d'un spectrophotomètre à fibre optique SPID, emprunté au laboratoire du lycée. Chaque groupe d'espèces animales présente sa propre sensibilité à la lumière en fonction des plages de longueurs d'onde. Mais en l'état des connaissances, les lumières ambre orange sont à privilégier¹⁰. En effet la lumière bleue est plus diffusée que la lumière rouge et impacte davantage la noirceur du ciel. Par ailleurs cette lumière bleue a des conséquences sur différents mécanismes biologiques, (photosynthèse, cycle circadien...).

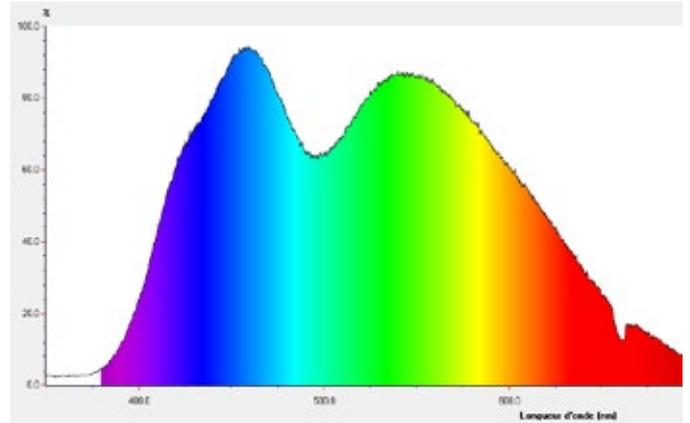


Fig.8. Spectre de la lumière émise par le spot de la figure 7. Bien que les DEL présentent des performances énergétiques intéressantes, le pic de lumière bleue est préoccupant quant à son possible impact sur la biodiversité.

Quelles solutions pouvons-nous apporter à notre échelle et dans notre ville de Gaillac ? Seuls nous ne pouvons rien ; il nous faut rencontrer les acteurs techniques et politiques pour développer ensemble de bonnes pratiques d'éclairage durable. Mme Marie Montels, maire-adjointe au développement durable, à la transition écologique et à la mobilité et M. Piludu, adjoint responsable des travaux et de la vie quotidienne ont accepté de venir rencontrer les élèves. Les 3 900 points lumineux d'éclairage public devant être changés en cours d'année prochaine, les élus sont en pleine réflexion sur la rénovation du parc de l'éclairage public dont le budget était de 552 000 euros en 2021. L'autre problématique soulevée par les élus était : « A-t-on besoin de l'éclairage public ou non, et quand ? ». Le défi étant de répondre au besoin de la réduction de lumière sans négliger la sécurité, car l'éclairage public est nécessaire malgré tout. Un géoréférencement des points lumineux doit être réalisé, afin d'avoir un schéma global à l'échelle de la commune. Éteindre à partir de quelle heure ? Dans quels lieux ? Reprendre le RLP (règlement local publicitaire) afin de diminuer l'impact des enseignes publicitaires. Le chantier est ouvert, mais comme l'ont signalé les élus, il en est des « bonnes idées des élèves comme de la liste des cadeaux de Noël, c'est ce vers quoi

¹⁰ D'après <http://www.trameverteetbleue.fr/>

il faut tendre, mais cela a un coût ». Cette rencontre a été riche en informations partagées, les élus ayant apprécié l'investissement des élèves, futurs acteurs de leur ville. Nous nous sommes quittés sur le projet d'une participation à « la nuit est belle » à la rentrée scolaire.

Une solution simple mise en œuvre par les élèves a consisté à expérimenter différents types de réflecteur de lampadaire donnant une direction privilégiée à la lumière émise dans l'espace, (figure 9). Il est essentiel de ne plus envoyer de lumière vers le ciel, ni même à l'horizontale.

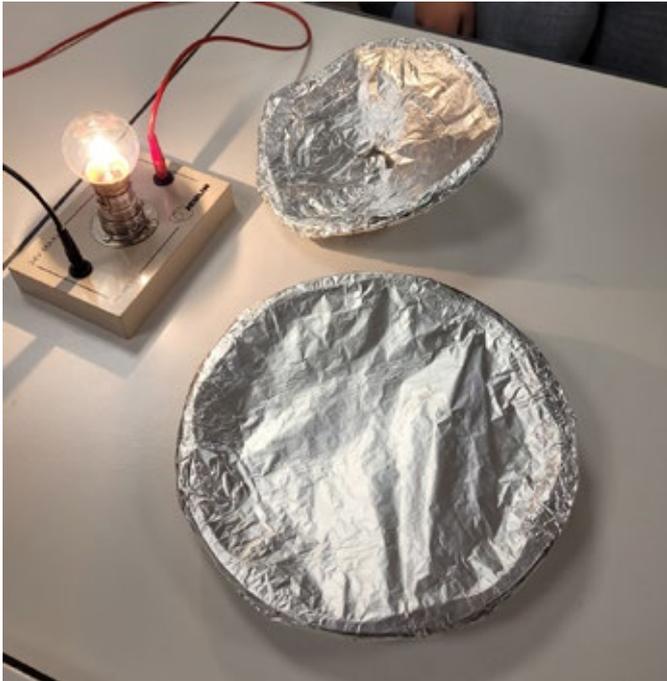


Fig.9. Deux réflecteurs testés. Une assiette plate en plastique recouverte de papier aluminium. Une seconde coupée et repliée en cône.

Pour estimer les effets autrement qu'à l'œil nu, nous avons utilisé l'application luxmètre de Fizziq¹¹ qui permet de mesurer la luminance ponctuelle du centre de l'image en pourcentage d'une référence choisie. Ainsi, à une même distance de la source, et en visant la paillasse sans bouger le smartphone, nous avons relevé 100 % pour la valeur de référence de départ, 128 % et 140 % en disposant une assiette plate blanche sans et avec papier aluminium, et enfin 150 % en pliant cette dernière en forme de cône. Les mesures en tournant notre capteur vers le plafond blanc (modélisant un ciel nuageux), ont quant à elles diminuées de 40 à 26 % de la référence (les rideaux de notre salle sont très peu occultants). Il est donc possible de circuler dans la rue de nuit sans difficulté tout en minimisant l'impact des lampadaires. Le temps nous a manqué pour reproduire l'expérience avec des supports plus absorbants que les carreaux des paillasses blanches.

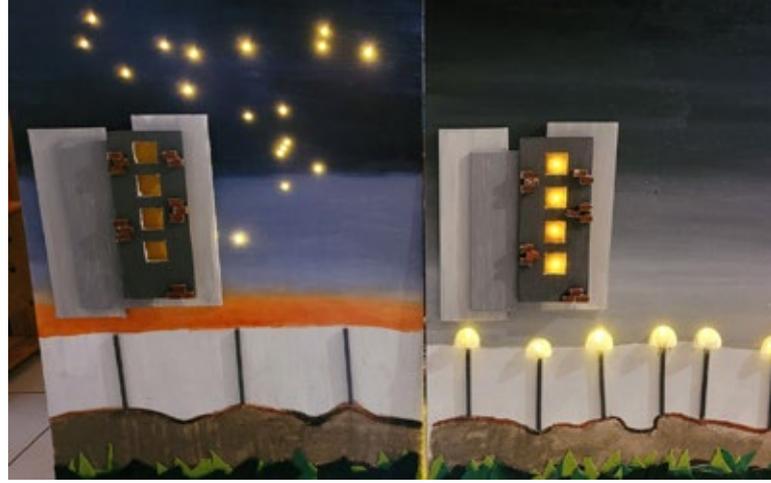


Fig.10. Diptyque produit par les élèves. Taille réelle 80 cm x 120 cm. Les deux panneaux mobiles s'opposent et interpellent le visiteur. Une même ville, mais des technologies différentes qui modifient notre environnement.

Notre projet s'est concrétisé par la production de deux panneaux, l'un présentant une ville respectueuse du ciel étoilé, où la biodiversité est riche, l'autre où les lumières de la ville ont éteint les étoiles, et sans vie. Ces productions seront présentées et les démarches explicitées lors d'un colloque au mois de mai à l'Université Paul Sabatier, puis en fin d'année aux élèves des classes de 6^e.

Je tiens ici à remercier vivement notre parrain, Renaud Mathevet, (LNCMI UPS - Toulouse III), pour sa disponibilité et les belles expérimentations qu'il nous a présentées sur les spectres lumineux. De même tous mes remerciements à Patricia Maly, professeur d'art plastique pour son aide précieuse. J'ai personnellement découvert la perspective atmosphérique, élément clef dans la construction de notre compréhension du halo de pollution lumineuse.

11 <https://www.fizziq.org/>