Eteins la lumière !

Atelier scientifique 2015-2016

Qu'est-ce que la pollution lumineuse ? Quelle est son origine ? Comment l'estimer ? La mesurer ? Comment réduire la pollution lumineuse ? Quels sont les impacts sur la biodiversité ? Sur l'Homme ?

Laetitia LEGRAND

Collège Olympe de Gouges

Sommaire

Résumé ……..page 2

Introduction : origine du projet ……..……page 3

I- Projet astronomie : La pollution lumineuse. Qu'est-ce que la pollution lumineuse ? Quelle est son origine ? Comment l'estimer ? La mesurer ? Quels sont les impacts sur la biodiversité ? Sur l'Homme ?……..…..page 4

II-L'atelier scientifique vu par les élèves : mise en œuvre du projet Astro……..……..…page 5

III-Conclusion et perspectives……..…page 20

Remerciements…….……page 21

Résumé

En cette année de COP 21, nous avons décidé de nous attaquer à ce problème et essayons de nouveau de convaincre la marie de notre collège. En nous intéressant à ce problème, nous avons pris conscience des enjeux de la pollution lumineuse : il ne s'agit pas seulement d'une envie d'une poignée d'astronomes amateurs qui désirent un ciel de qualité; les enjeux sont, en effet, multiples : économie d'énergie, préservation de la biodiversité, santé ...

Notre établissement ayant été choisi lors de la dotation 2013 d'Astro à l'école, nous disposons désormais de matériel nous permettant d'être plus autonome dans nos observations et permettant ainsi la mise en place de plusieurs thématiques sur les années qui viennent.

Cet atelier, encadré par plusieurs enseignants, a pour but de développer la culture scientifique des élèves ainsi que leur autonomie. Ils sont amenés à travailler en équipe dans un groupe réduit, maximum 15 élèves, dans un cadre différent de celui d'un cours. Il s'agit d'amener les élèves à mieux comprendre les objets du ciel (étoiles, planètes, etc…) et les phénomènes astronomiques. La démarche de projet est à la base de leur travail, des soirées d'observation du ciel sont organisées afin de susciter le questionnement des élèves. Elles se déroulent au collège ou en dehors de celui-ci (en fonction de l'heure, du sujet), le matin avant les cours, ou le soir.

Pour cette troisième saison, nous avons choisi de travailler sur le thème de la pollution lumineuse. Depuis la création de notre atelier, nous nous sommes souvent heurtés au problème du choix du site d'observation. Dans un premier temps, nous avions envisagé de réaliser nos observations sur le parking du collège afin de faire participer un maximum d'élèves. Malheureusement, nous nous sommes heurtés au refus de la mairie.

Les élèves devront tout d'abord chercher à savoir si la pollution lumineuse est une vraie pollution, que cela soit pour la faune, la flore, ou l'observation du ciel. Ils devront pour cela proposer des expériences afin de vérifier leurs hypothèses. Si les résultats sont concluants, ils devront chercher des solutions, les tester, puis de les proposer aux élus de la commune. L'objectif est d'obtenir une diminution de l'éclairage sur la commune de Cadaujac, de faire prendre conscience aux gens des enjeux se cachant derrière ce problème.

Introduction

Ce projet s'inscrit dans le cadre du fonctionnement d'un atelier scientifique et technique. Comme ce fut le cas l'an dernier, le travail réalisé a pour but d'être présenté lors de l'opération CGénial. Cet atelier s'inscrit également dans le projet d'établissement, dans le cadre de l'ouverture culturelle, il permet aux élèves de mieux appréhender certains aspects du monde de la recherche et de découvrir les voies d'orientation, les métiers en relation avec les disciplines scientifiques.

Tous les niveaux scolaires sont concernés et peuvent s'inscrire à l'atelier scientifique.

Cette année, le groupe se compose d'une quinzaine d'élèves; suivant les séances, l'effectif est variable, certains élèves ayant plusieurs options (Latin, section euro…) ne peuvent assister qu'à une des deux séances hebdomadaires. La répartition par niveau est la suivante : 4 élèves de 6ème, 6 élèves de 5ème et 4 élèves de 3ème.

Trois enseignants participent à ce projet qui se veut pluridisciplinaire (SVT – Physique-Chimie et Technologie).

I- Projet astronomie : La pollution lumineuse. Qu'est-ce que la pollution lumineuse ? Quelle est son origine ? Comment l'estimer ? La mesurer ? Quels sont les impacts sur la biodiversité ? Sur l'Homme ?

Lors de la préparation du projet, voici les différents axes d'étude qui avaient été envisagés.

Dans un premier temps, nous avions envisagé de mesurer la pollution lumineuse sur différents sites. Il nous est vite apparu qu'il était très difficile d'estimer la pollution lumineuse. Nous voulions au départ fabriquer un photomètre qui s'apparente aux appareils de mesure vendu dans le commerce mais la conception et la réalisation de cet appareil étant relativement compliqué, nous avons repoussé ce projet à plus tard. Nous avons donc envisagé d'autres méthodes pour estimer la pollution du ciel, comme compter le nombre d'étoiles visibles dans les constellations. Puis nous avons voulu savoir d'où provenait la pollution lumineuse. Nous avons effectué des recherches dans le cadre de l'opération « le jour de la nuit » qui s'est déroulé le 10 Octobre 2015. Le site Internet et le jeu en ligne nous ont permis de cibler les premières causes de pollution lumineuse.

Puis, nous avons décidé d'essayer de convaincre une nouvelle fois la mairie de Cadaujac de modifier l'éclairage autour de notre collège. En effet, la multitude d'éclairage autour du bâtiment, du terrain de sport,….ne nous permettent pas de réaliser des soirées sur le parking dans de bonnes conditions.

Cela est dommageable car de nombreux élèves ne peuvent y assister de ce fait. Contacté par la communauté de communes de Montesquieu pour participer au festival Créamômes qui se déroulera dans le parc près de notre établissement au mois de Mai, nous comptons sur notre étude, notre engagement et cette manifestation pour tenter de faire évoluer les mentalités !

II-L' atelier scientifique vu par les élèves.

Certaines des problématiques initiales ont été redéfinies en fonction du questionnement des élèves et de l'actualité (comme toujours en astronomie, nous sommes tributaires des conditions météorologiques, celles-ci se sont révélées exécrables depuis début Janvier ne nous permettant pas d'avancer sur la prise des photos). Les thèmes suivants seront donc présentés en totalité ou partiellement lors de la finale du concours.

1-Qu'est-ce-que la pollution lumineuse ? Quelle est son origine ?

Notre étude a débuté par une réflexion sur la pollution lumineuse. A quoi correspond la pollution lumineuse ? Celle-ci est bien visible lors de nos soirées d'observation. Un halo lumineux, un ciel orangé se dessine au-dessus de la ville de Bordeaux distante d'une vingtaine de kilomètres. Eclairages urbains, enseignes publicitaires, vitrines de magasins, bureaux allumés en permanence... On parle de pollution lumineuse lorsque les éclairages artificiels sont si nombreux et omniprésents qu'ils nuisent à l'obscurité normale de la nuit. Afin de découvrir l'origine de la pollution lumineuse, les élèves ont travaillé à l'aide d'un logiciel permettant de découvrir les sources de pollution lumineuse. De plus, ils ont recensé les sources de pollution lumineuse autour du collège et/ou de leurs habitations.

Doc 1 : découverte de la pollution lumineuse sur le site du muséum d'histoire naturelle.
http://www.nuit.mnhn.fr/games/PollutionLum/

Doc 2 : exemple de source de pollution lumineuse. Réflexion sur les choix à effectuer.

2-Comment l'estimer ? Comment la mesurer ?

L'**échelle de Bortle** d'évaluation de la qualité du ciel noir (*dark-sky scale* pour les anglophones) est une échelle de mesure de la pollution lumineuse créée pour l'édition de février 2001 du magazine *Sky & Telescope* par John Bortle.
C'est avant tout une description de la « noirceur » et un indice de *pureté* du ciel de l'atmosphère, basée sur l'observation de différents objets astronomiques et des perturbations lumineuses.

7.6 - 8.0	1
7.1 - 7.5	2
6.6 - 7.0	3
6.3 - 6.5	4
6.1 - 6.3	4.5
5.6 - 6.0	5
5.0 - 5.5	6,7
<4.5	8,9

Exemple de représentation de l'échelle de Bortle. Le noir correspond à un ciel pur (voie lactée bien visible). Le blanc correspond à un ciel urbain opaque aux étoiles et généralement orangé à blanchâtre selon la hauteur de la couche nuageuse (quand elle est présente), où l'on ne voit presque plus les étoiles.

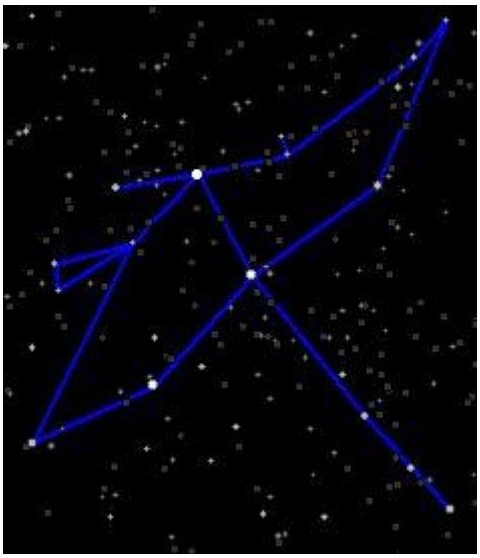
Doc 3 : échelle de Bortle

Il est également possible d'estimer la pollution lumineuse à partir d'un Sky Quality Meter dit SQM est un petit boîtier ingénieux qui sert à mesurer la noirceur du ciel grâce à un capteur photosensible.

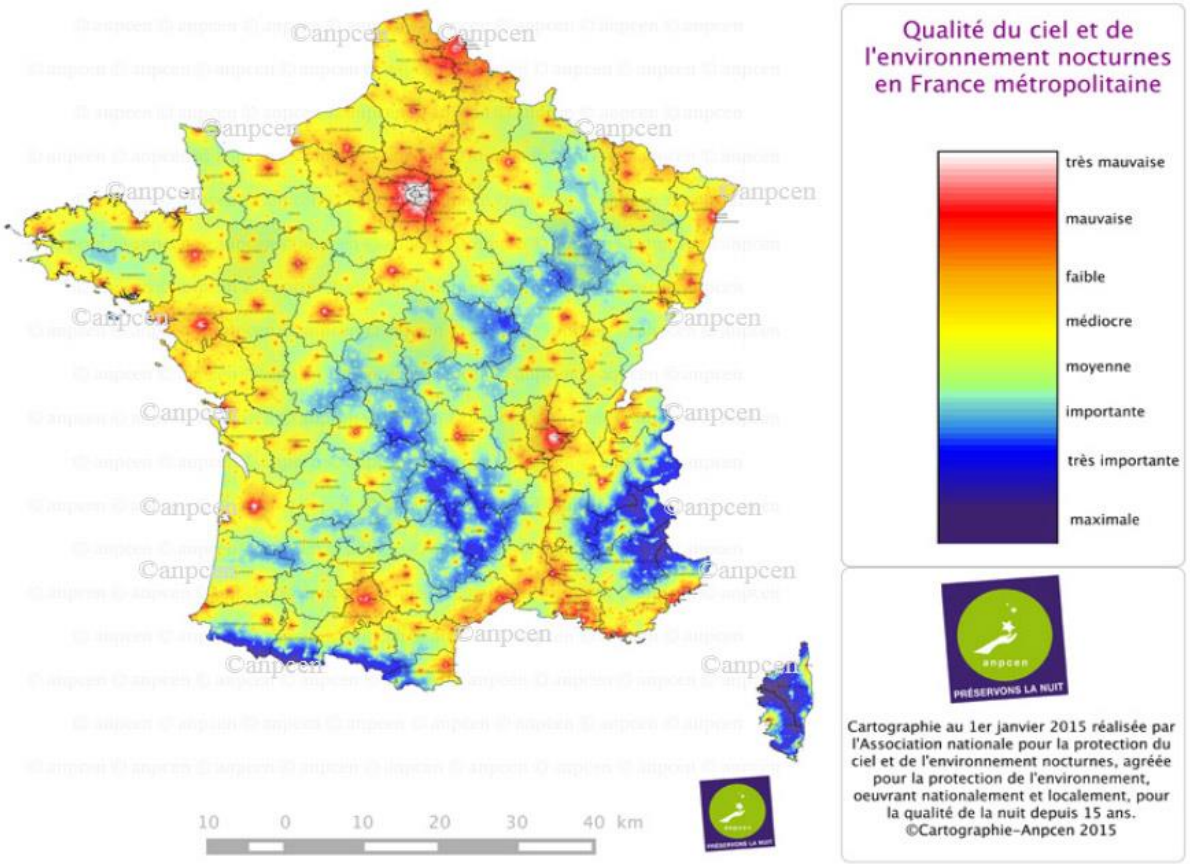
<u>Doc 4 : le Sky Quality Meter qui permet de quantifier la pollution lumineuse.</u>

Si nous en avons le temps, nous tenterons de fabriquer un boitier de ce type (ou plus simplement un photomètre) afin d'affiner nos estimations sur nos différents sites d'observations.

Pour le moment, nous nous sommes contentés de compter le nombre d'étoiles que nous pouvions observer dans la constellation du cygne. Bilan : Le parking du collège ne permet pas l'observation de toutes les étoiles principales. Notre site de Martillac permet d'observer toutes les étoiles principales : ciel de bonne qualité (sauf en cas de match sur le terrain de sport situé non loin…).



<u>Doc 5 : Les principales étoiles de la constellation du cygne.</u>



Doc 6 : carte de la pollution lumineuse en France. Source ANPCEN.

3-Application au parking du collège : comment améliorer la qualité de l'éclairage, réduire la pollution lumineuse ?

Diminuer la pollution lumineuse, c'est tout simplement mieux éclairer. L'utilisation de systèmes d'éclairage peu performants, la surpuissance des installations, une durée de fonctionnement supérieure aux besoins réels sont autant de causes de la pollution lumineuses que connaissent aujourd'hui villes et villages. C'est sur ce problème que se sont penchés les membres du club :

Dans un premier temps, les élèves ont étudié des différents types d'ampoules. Nous avons commencé par mesurer la luminosité en fonction de l'angle d'émission pour 4 types d'ampoules. La problématique est la suivante : les ampoules éclairent-elles aussi bien dans toutes les directions ? Quatre types d'ampoules sont employés dans l'éclairage domestique :

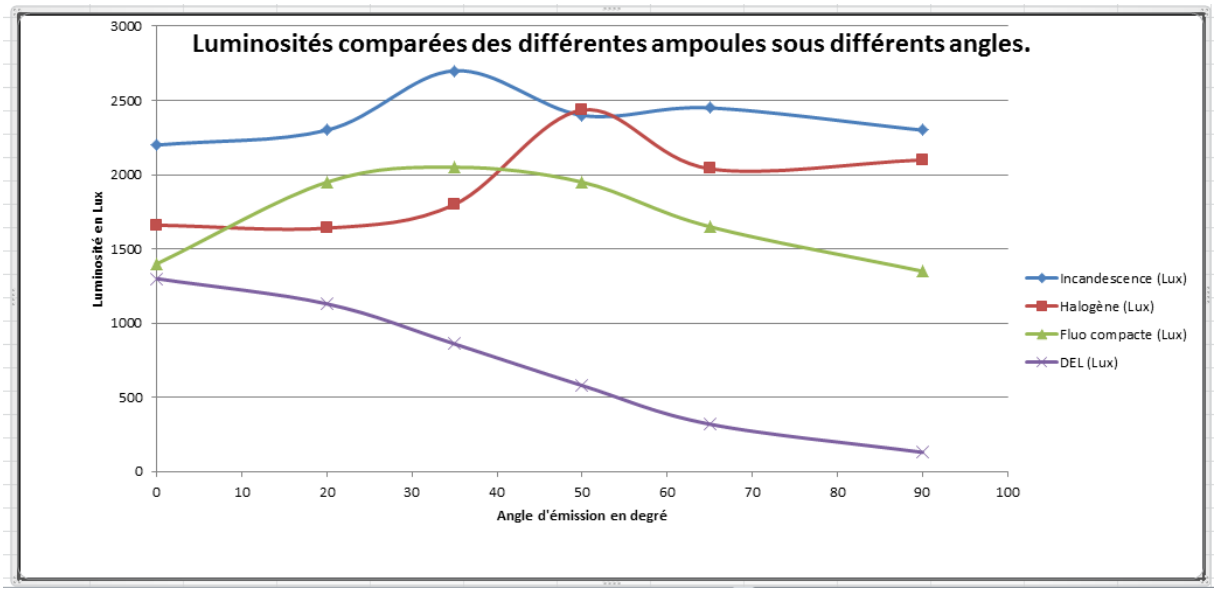
- Les ampoules à filaments tungstènes (incandescence) : Elles sont constituées d'un filament tungstène plongé dans un gaz neutre. Le filament est traversé par un courant électrique qui le porte à incandescence ; il émet de la lumière et de la chaleur et perd petit à petit de la matière jusqu'à se rompre. Les lampes à filament tungstène ont une durée de vie limitée et n'ont pas une très bonne efficacité énergétique ; beaucoup d'énergie est dissipée en chaleur. Environ 5 % seulement de l'énergie consommée est restituée en lumière.

- Les ampoules halogènes : Elles sont constituées d'un filament plongé dans des vapeurs de brome ou d'iode. Ce gaz permet que le filament s'use beaucoup moins vite que dans une lampe à incandescence classique. La durée de vie est environ 2 fois celle d'une ampoule classique. Le filament peut être porté à plus haute température, ce qui permet un meilleur rendement et l'émission d'une lumière plus vive.
- Les ampoules fluo compactes : Elles fonctionnent selon le même principe que les tubes fluorescents et en constituent une variante moins encombrante. Un gaz (généralement des vapeurs de mercure) est excité par un courant électrique et émet un rayonnement ultraviolet qui produit une lumière visible au contact de pigments fluorescents qui tapissent les parois de l'ampoule. La durée de vie de ces lampes est environ 6 à 8 fois plus élevée que celle des ampoules à filament classiques. Leur rendement énergétique est 5 à 6 fois plus important que celui des ampoules à filament classique : environ 30% de l'énergie consommée est restituée en lumière. En revanche il leur faut plusieurs minutes de montée en puissance pour qu'elles fournissent leur plein éclairage.
- Les ampoules DEL (LED) : Une LED (Light Emitting Diode) est un composant électronique constitué de matériaux semi-conducteurs qui émet de la lumière sous l'action d'un courant électrique faible. La technologie LED a été découverte en 1907 mais les premières applications n'ont vu le jour que dans les années 1970. Les lampes d'éclairage à LED sont apparues au début du 21e siècle. Les lampes à LED sont constituées de plusieurs LED réunies dans un même boîtier. Les avantages de ce type de lampe sont : très faible consommation (8 fais moins qu'une lampe à incandescence), durée de vie très longue (environ 50 000 à 100 000 heures). De plus les LED ne contiennent pas de mercure, contrairement aux lampes fluo.

<u>Doc 7 : banc d'essai éclairage avec lequel nous avons comparé les différentes ampoules.</u>

Doc 8 : mesure de la luminosité des différents types d'ampoules en fonction de l'angle.

Nous avons mesuré, à l'aide d'un luxmètre, la luminosité de caque ampoule en fonction de l'angle, afin de voir si elles éclairaient toutes de la même façon dans toutes les directions.



Doc 9 : résultat de la comparaison des luminosités / angle d'émission.

D'autres graphiques réalisés par les élèves sont en annexe. Après plusieurs séances de mesures et analyse des graphiques, nous constatons :

- L'ampoule tungstène produit l'éclairage le plus homogène dans toutes les directions, la lumière se diffusant dans toutes les directions, ce n'est pas une bonne candidate

pour un lampadaire, trop de perte de lumière et donc cela génère de la pollution lumineuse.

- l'ampoule à LED éclaire surtout au-dessus et peu sur le côté, cela peut faire une bonne candidate pour un lampadaire, pas de perte sur les côtés, le chapeau du lampadaire limitant la perte sur le dessus.
- l'ampoule halogène éclaire peu au-dessus, mais il y a de la perte sur les côtés, cela n'est pas bon pour un lampadaire.
- l'ampoule fluo semble diffuser dans un cône entre 20 et 50°, ce qui à priori constituerait encore une trop grande pollution dans le cas d'un lampadaire.

En termes de perte énergétique, les LED semblent être à préconiser.

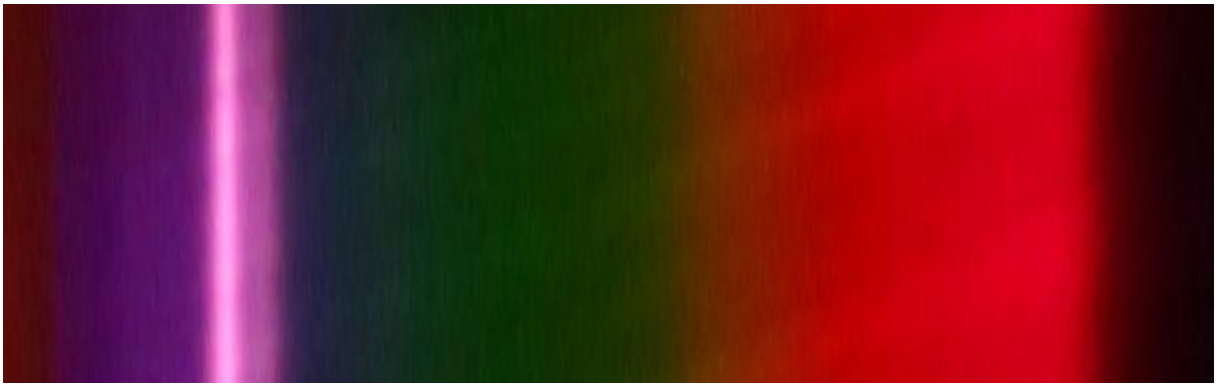
Analyse des spectres des différents types d'ampoules.

Les élèves ont complété leurs connaissances des années précédentes concernant la lumière. En physique, un rappel a été fait sur les spectres lumineux ; Afin de déterminer quels types d'ampoules étaient utilisés autour de notre collège, nous avons choisi de réaliser des spectres des différents types d'ampoules et de les comparer à ceux se trouvant autour du collège. Les problématiques sont les suivantes : Toutes les ampoules possèdent-elles le même spectre ? Quel type d'ampoules trouvons-nous autour de notre collège ?

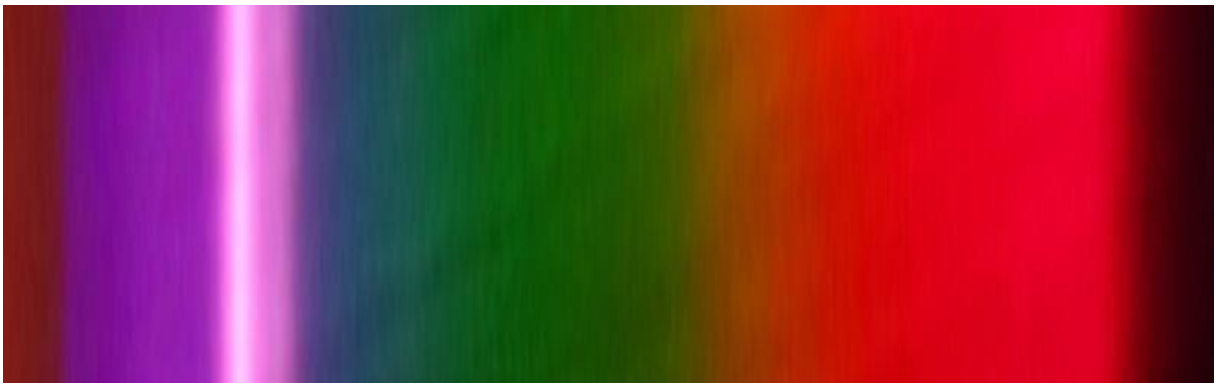
Doc 10 : Réseau monté sur l'appareil photo afin de réaliser les prises de vues.

Doc 11 : préparation à la prise de photos des différents types de spectres.

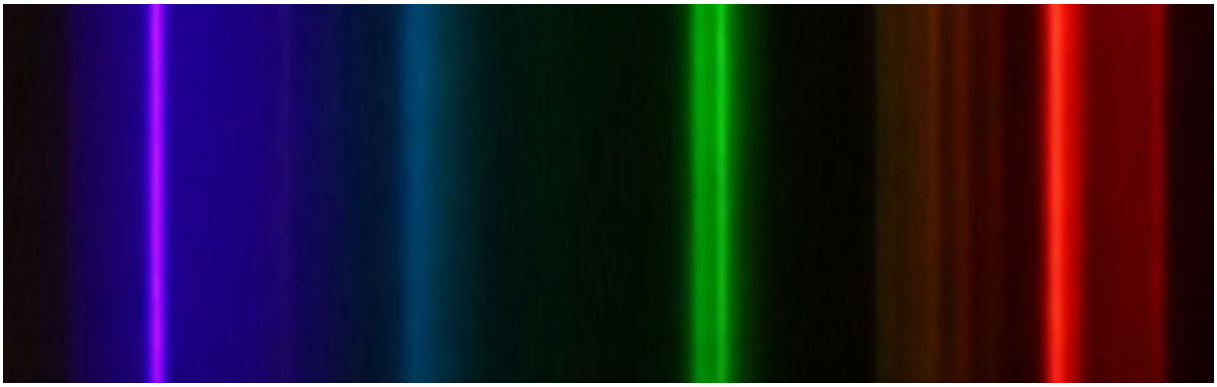
Voici les 4 types de spectres obtenus :



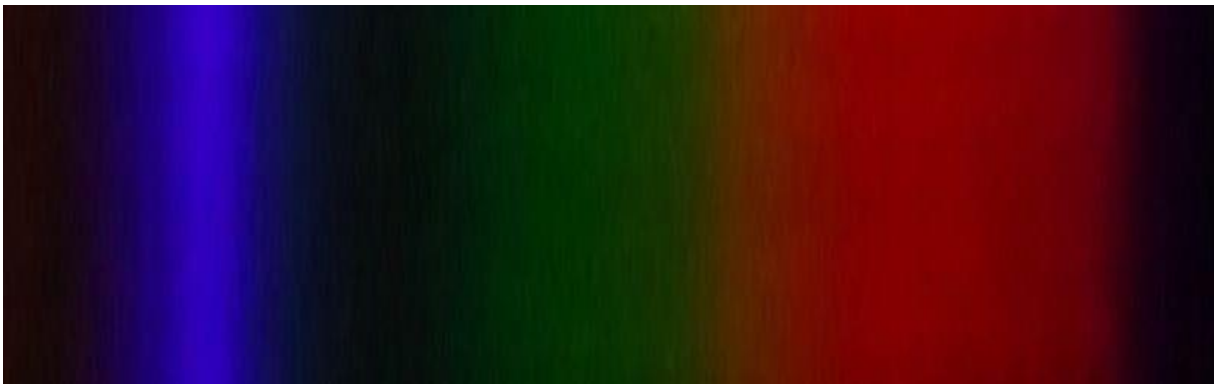
Doc 12 : spectre de l'ampoule à incandescence.



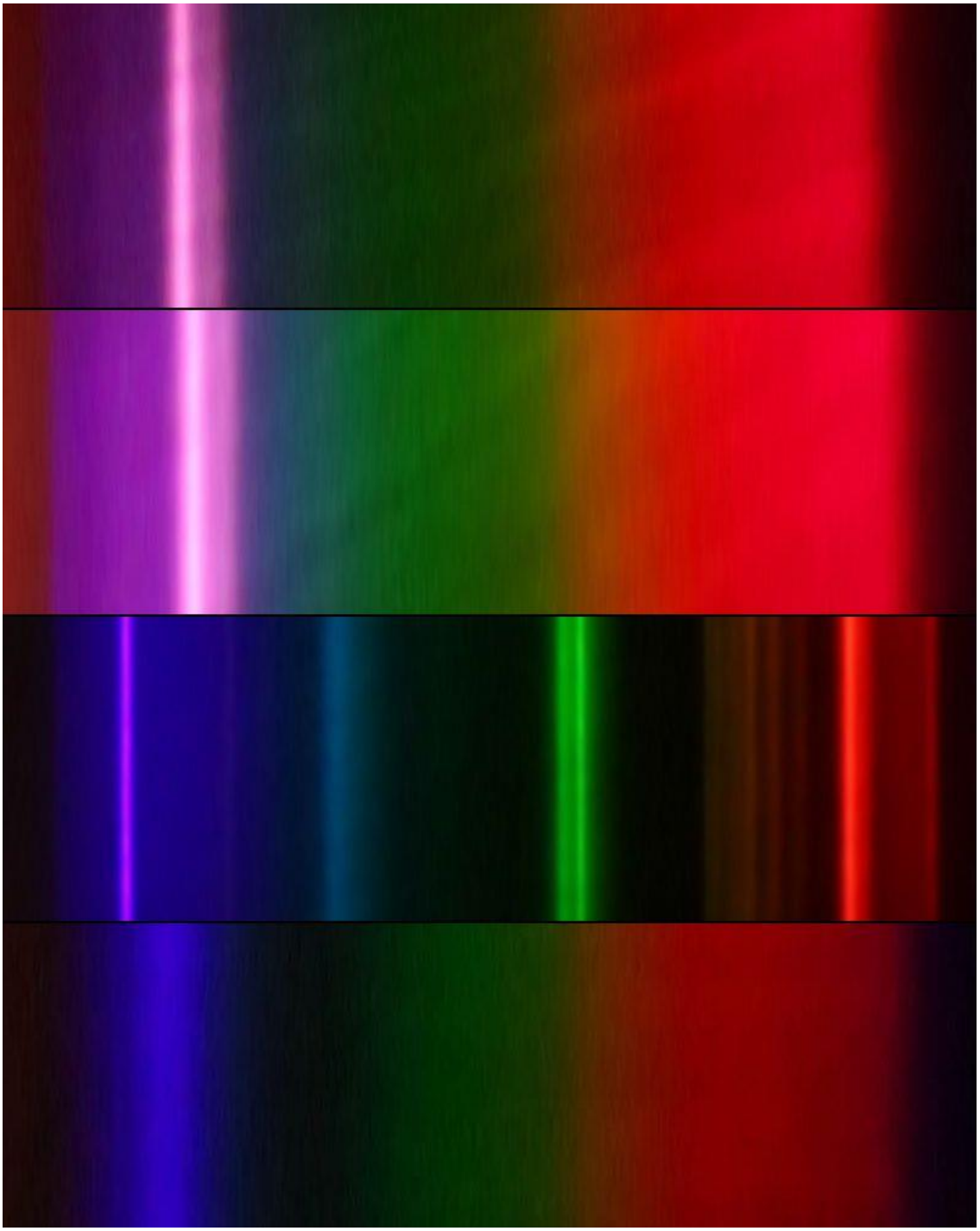
Doc 13 : spectre de l'ampoule halogène.



Doc 14 : spectre de l'ampoule fluo compacte



Doc 15 : spectre de l'ampoule LED



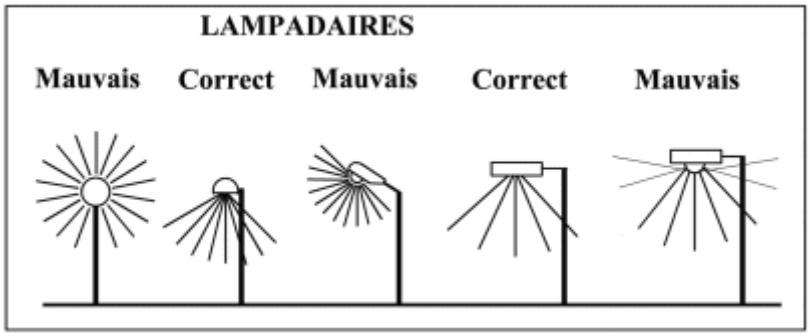
Doc 16 : comparaison des 4 spectres

Conclusion : On distingue nettement le pic de lumière bleue, sur le spectre de la LED. Le spectre de la fluo compacte se distingue des autres, c'est un spectre typique de l'éclairage fluorescent: il est peu homogène et montre des pics qui correspondent à l'émission des atomes de mercure lors des décharges lumineuses. Le spectre d'une lampe halogène est plus diffus avec une forte proportion de rouge: la température de couleur se situe entre 2800 et 3000°K (lumière chaude). La lampe émet beaucoup de chaleur (rayonnement infrarouge = IR). Le spectre d'une ampoule incandescente classique est similaire, avec un décalage un peu plus marqué vers le rouge.

Le choix des LED devient ici plus discutable, car on voit qu'il s'agit d'une lumière froide. Cela a-t-il des impacts sur la santé et l'environnement ? Il faudra poursuivre nos recherches dans ce sens.

Choix de la forme du lampadaire :

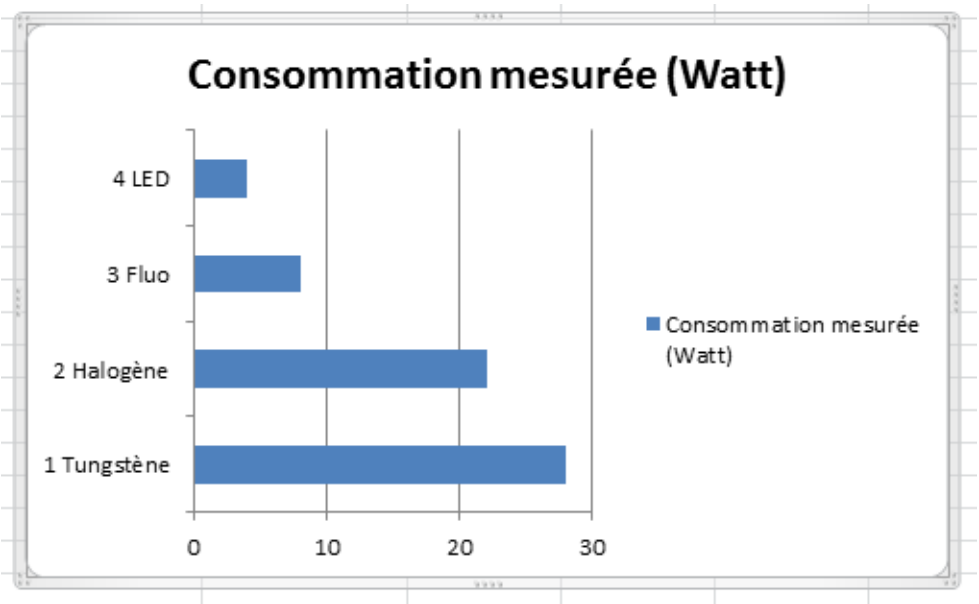
Nous avons réfléchi à la meilleure forme à donner à un lampadaire afin de limiter la diffusion vers le ciel et les déperditions énergétiques. Nos résultats seront présentés sous la forme d'une maquette (en cours de réalisation).



Doc 17 : différents types de lampadaires.
Source : http://www.astro.ulg.ac.be/~demoulin/pollum/pollum2.htm

Quantité d'énergie émise par chaque type d'ampoule :

A l'aide d'un wattmètre, il est possible de mesurer la quantité d'énergie émise par chaque type d'ampoule. La problématique est la suivante : Que consomme chaque type d'ampoule ?

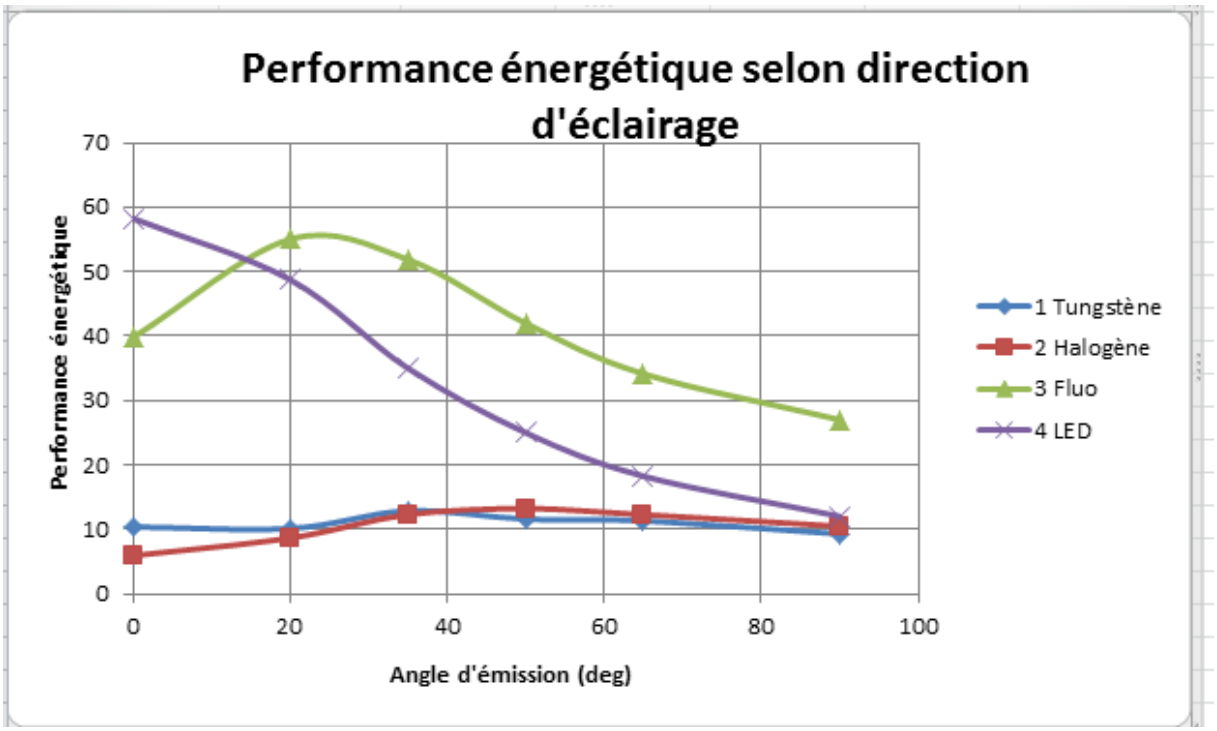


Doc 18 : Comparaison des consommations des 4 types d'ampoules.

Conclusion : il est flagrant que l'ampoule tungstène consomme beaucoup d'énergie, à l'opposé de l'ampoule à LED qui semble consommer 7 fois moins. Une fois encore, l'ampoule LED semble à privilégier.

On peut aller plus loin dans l'étude en calculant l'efficacité énergétique de chaque ampoule. L'efficacité énergétique d'un produit est le rapport entre l'énergie efficace restituée (par exemple la lumière émise) et la consommation d'énergie (par exemple l'électricité consommée). Pour un résultat donné, moins le produit consomme d'énergie, plus on dit qu'il est efficace énergétiquement.

Pour une ampoule d'éclairage, l'efficacité énergétique = lumière émise (Lux) / consommation électrique (Watt) .A partir des mesure de consommation et de luminosité, il est possible de calculer l'efficacité énergétique des différentes ampoules.



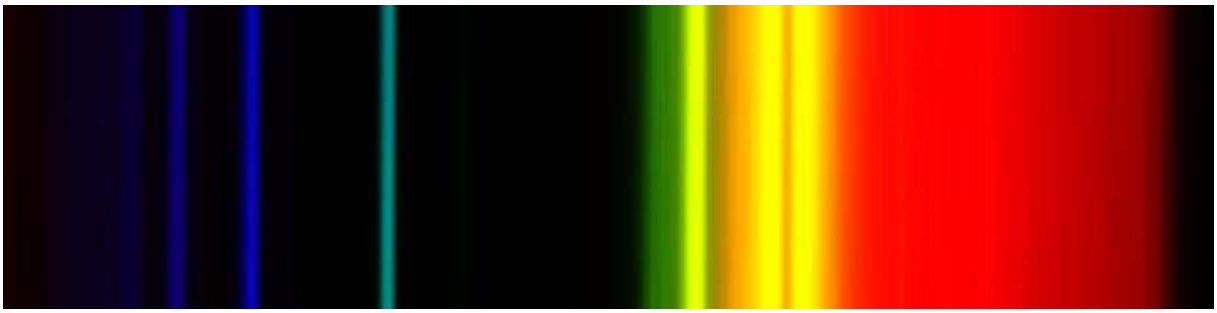
Doc 19 : Performance énergétique de chaque ampoule selon la direction de l'éclairage.

Conclusion : L'ampoule à LED a la meilleure efficacité mais seulement au-dessus de l'ampoule (pas pratique dans le cas d'un lampadaire), en revanche, sur le côté, cette ampoule n'est pas meilleure en efficacité que les ampoules à filament. L'ampoule fluo a la meilleure efficacité énergétique bien que celle-ci ne soit pas homogène dans toutes les directions.

Afin de terminer notre étude, nous sommes ensuite allés photographier les lampadaires se trouvant aux abords de notre collège afin de savoir quel type d'ampoule y est installé.

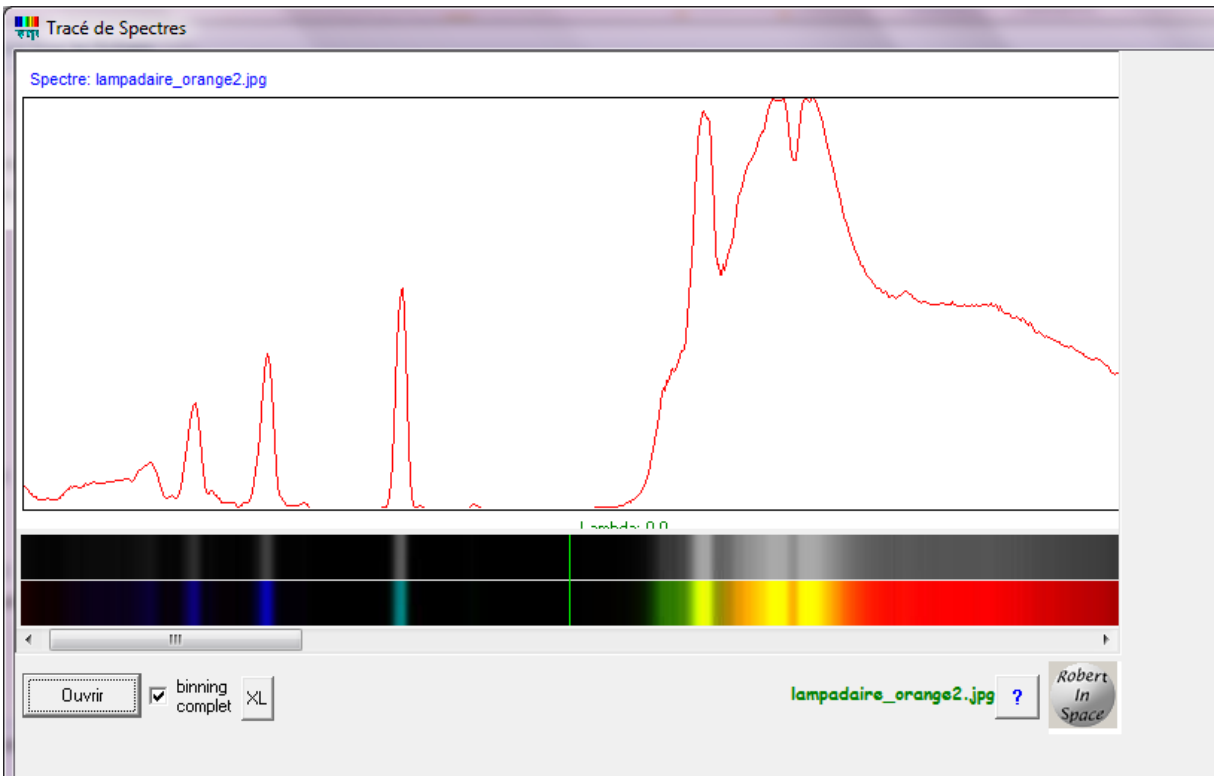
Doc 20 : les lampadaires autour de notre collège. Ils génèrent une très forte pollution lumineuse.

Doc 21: pollution lumineuse autour du collège.



Doc 22 : Spectre d'un des lampadaires orangés positionnés autour de notre collège.

Nous remarquons que ce type de lampadaire ne correspond à aucune des ampoules que nous avions étudiées. Après quelques recherches, il semblerait qu'il s'agisse d'un lampadaire à vapeur de sodium haute pression, grand générateur de pollution lumineuse (on observe les raies caractéristiques d'absorption dans le orangé).



Doc 23 : analyse du spectre par le logiciel de Philippe Bœuf
http://philippe.boeuf.pagesperso-orange.fr/robert/astronomie/speclampadaire.htm

Conclusion et objectif pour notre collège :

Afin de diminuer l'impact de la pollution lumineuse, il conviendrait d'adopter les règles suivantes :

Tous les appareils d'éclairage extérieurs devraient être équipés de dispositifs permettant de faire converger les faisceaux lumineux vers le sol, en évitant de la sorte, toute diffusion de la lumière vers le ciel. En termes d'ampoule, il semblerait que les lampadaires à sodium basse pression soient plus faciles à filtrer (une seule raie) que ceux à haute pression qui génère un halo jaune orangé. Les DEL qui semblent intéressantes d'un point de vue énergétique ont semble-t-il un impact très néfaste sur les insectes et la biodiversité (nous poursuivons nos recherches sur ce sujet !).

4-Impacts sur l'Homme ? Sur la biodiversité ?

La pollution lumineuse décale notre horloge interne, réglée sur l'alternance lumière-obscurité. Les conséquences sont plus graves que l'on pourrait le croire : stress, dépression, baisse des capacités cognitives et motrices, obésité, risques accrus de cancer et de maladies cardiovasculaires, troubles de la croissance…

L'éclairage public est souvent inadapté. Trop intense, il donne certes une illusion de sécurité, mais endort la vigilance des conducteurs. Et c'est oublier que plus le contraste entre les parties éclairées et non éclairées est fort, plus on met de temps à réagir. Mal dirigé, il éblouit, éclaire mieux l'intérieur des habitations que la rue. Au contraire, une lumière douce dont le faisceau est uniquement dirigé sur le sol représente à la fois des économies d'énergie, une plus grande efficacité et un plus grand confort.

Avec deux tiers des espèces actives la nuit, les pollutions lumineuses ont un impact loin d'être anecdotique. On parle en effet de milliards d'insectes qui meurent chaque année – les pollutions lumineuses sont leur seconde cause d'extinction –, d'au moins 100 millions d'oiseaux morts d'être entrés en collision avec des constructions ou d'avoir perdu leur route de migration…Les conséquences sont aussi économiques, car parmi les animaux nocturnes affectés, il y a des pollinisateurs. Cela entraîne une baisse du renouvellement des plantes, qui sont à la base des chaînes alimentaires…

Nous envisageons de réaliser certaines expériences dans les mois qui viennent pour mesurer l'impact de la pollution lumineuse sur la biodiversité. Notamment, celle-ci : *L'enquête Insectes et ciel étoilé qui sert à déterminer s'il y a un lien entre la qualité du ciel et la biodiversité. Lancée au printemps 2014, cette enquête est encadrée par Vigie Nature (Muséum National d'Histoire Naturelle), Noé Conservation et l'Association Française d'Astronomie. Comment ? Entre mars et octobre, il faut attirer des insectes sur un drap éclairé pour ensuite les compter.*

III-Conclusion et perspectives.

Le but est maintenant de contacter la mairie de Cadaujac afin de lui exposer les résultats de notre étude. Nous comptons sensibiliser les habitants lors d'une soirée astro qui sera organisée dans le parc du château dans le cadre du festival Créamômes. Les mentalités sont difficiles à faire évoluer, il nous faut maintenant convaincre les habitants qu'éteindre la lumière ne génère pas d'insécurité mais au contraire permet de faire des économies d'énergie, de protéger l'environnement dans lequel nous vivons et également l'espèce humaine.

Nous avons, en effet, découvert qu'il n'existe pas d'éclairage « miracle » permettant de protéger à la fois l'Homme et la biodiversité ! Une bonne alternative serait d'installer des détecteurs de lumière et de limiter l'éclairage entre minuit et 6 heures du matin par exemple.

Remerciements

Nous tenons à remercier :

-L’observatoire de Paris, sciences à l’école et plus particulièrement Claire-Bonnot Chevalier pour le prêt du matériel,

-Sarah Fechtenbaum du Laboratoire d’Astrophysique de Bordeaux qui a suivi notre projet et nous a présenté ses recherches dans le cadre du programme « la science en marche »,

-Hervé Gillet qui supervise nos soirées astro (université Bordeaux),

-La fondation CGénial pour son soutien financier,

-Le rectorat de Bordeaux pour son soutien financier.

-Les parents des élèves de l’atelier qui les emmènent et participent aux différentes soirées d’observation.

-M. Bonnet, principal du collège, pour son soutien à notre projet.