

**Etude sur la qualité de l'éclairage urbain**

**Rapport d'intervention**

**Vichères**

**Remis le 10 Juin 2008**

# INTRODUCTION

## Contexte de l'étude :

---

Notre étude a pour objet le parc lumineux de la commune de Vichères, comportant 300 habitants et située au sud du parc du Perche, dans le département d'Eure-et-Loir de la région Centre.

Le parc du Perche souhaite soigner son image de marque de parc naturel régional. C'est pourquoi il entreprend en partenariat avec l'ADEME (Agence De l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie) des actions dans le but d'impulser, sur le territoire, une dynamique en faveur de l'efficacité énergétique, de la lutte contre l'effet de serre, ainsi que de la préservation de l'environnement. Parmi elles, une action concernant l'efficacité de l'éclairage public (économies d'énergie, lutte contre la pollution lumineuse...) est en cours de lancement. C'est dans cette optique que les deux villes mentionnées plus haut sont d'accord pour nous permettre d'effectuer des tests sur leur territoire en échange d'un diagnostic.

## Principes et objectifs

---

L'objectif de cette étude est de dresser un état du parc lumineux de la commune d'un point de vue photométrique. Pour cela nous réalisons des mesures et une simulation informatique qui caractérisent l'éclairement au sol et la contribution du parc lumineux à l'éclairement du ciel nocturne. Nous traitons et analysons ces résultats afin d'en déduire la qualité de l'éclairage. Cela permet ensuite de définir des possibilités d'optimisation qui permettent d'obtenir un éclairage de meilleure qualité au sol (meilleur confort pour l'utilisateur) et de réduire les pertes de lumière vers le ciel (diminution de la pollution lumineuse).

## Modalités

---

3 élèves ingénieurs en dernière année de l'Institut d'Optique Graduate School ont participé à l'élaboration du test : Nicolas FERACHOGLU, Guillaume MAUCORT et Damien MAYNERIS.

Cette étude a nécessité deux déplacements dans la commune. Le premier pour faire un repérage des lieux, le second pour réaliser les mesures, de nuit.

L'étude est réalisée à titre gracieux ; seul les frais occasionnés par les déplacements ont été pris en charge par l'Association Française d'Astronomie (AFA). L'association a également prêté aux étudiants le matériel nécessaire pour effectuer les mesures sur le terrain.

# PREPARATION

## Premier contact

---

Les coordonnées de la mairie nous ont été donnés par Michael Leblanc, responsable de l'AFA et maire de la commune de Bellou-Le-Trichard, située elle aussi dans le parc naturel régional du Perche. Un premier rendez-vous a alors été fixé par téléphone avec le maire, M. Thierry Manderin, pour le jeudi 13 mars 2008 dans la matinée. L'objectif de cette première visite était d'effectuer un repérage des lieux ainsi que de récolter le maximum d'informations au sein de la mairie en vue du second déplacement.

## Déroulement du premier rendez-vous (13/03/08)

---

Nous avons été accueillis par le nouveau maire de la commune M. Thierry Manderin. Michael Leblanc nous a rejoint peu après. La mairie ne disposait que d'un plan du réseau électrique. En le confrontant aux emplacements des lampadaires au cours d'un premier repérage dans les rues de la commune nous nous sommes aperçu qu'il ne référençait aucun point lumineux. En contactant Cegelec qui gère la maintenance de l'éclairage de Vichères nous avons appris qu'il n'existait pas de plan référençant les lampadaires. Toutefois, la mairie a pu nous fournir les plans du cadastre ainsi que les spécificités des lampadaires qui figuraient dans les archives. Cela nous a permis de faire ce référencement nous même, en nous déplaçant dans le bourg.

## Informations et résultats

---

Voici le premier bilan que nous avons pu dresser après notre première visite à Vichères :

- La commune comporte 17 points lumineux.
- Le parc est constitué de 3 types de points lumineux et d'un projecteur éclairant la mairie. **(Cf Annexe 1)**

<b><u>Type 1</u></b> :	12 unités Type Marianne Lampe à vapeur de mercure 125 W
<b><u>Type 2</u></b> :	4 unités Type EP 140 Lampe à vapeur de mercure 125 W
<b><u>Type 3</u></b> :	1 unité Type Pilote T2 Lampe à vapeur de mercure 250 W

- **Maintenance** : elle se fait au cas par cas. Une ampoule est changée lorsqu'elle est grillée. La maintenance est assurée par l'entreprise Cegelec de Nogent-Le-Retrou.
- **Répartition géographique** : nous disposons d'un plan du cadastre où sont répertoriés la position et le type de chaque point lumineux. **(Cf Annexe 2)**

# TESTS

## Seconde visite

---

Le rendez vous pour les tests a été pris pur la nuit du 2 au 3 avril 2008. Ils nous a fallu prévenir la mairie pour qu'elle maintienne son éclairage en fonctionnement jusqu'à 2 H du matin. (Habituellement, elles s'éteignent à 22 H). L'objectif de ces tests était double :

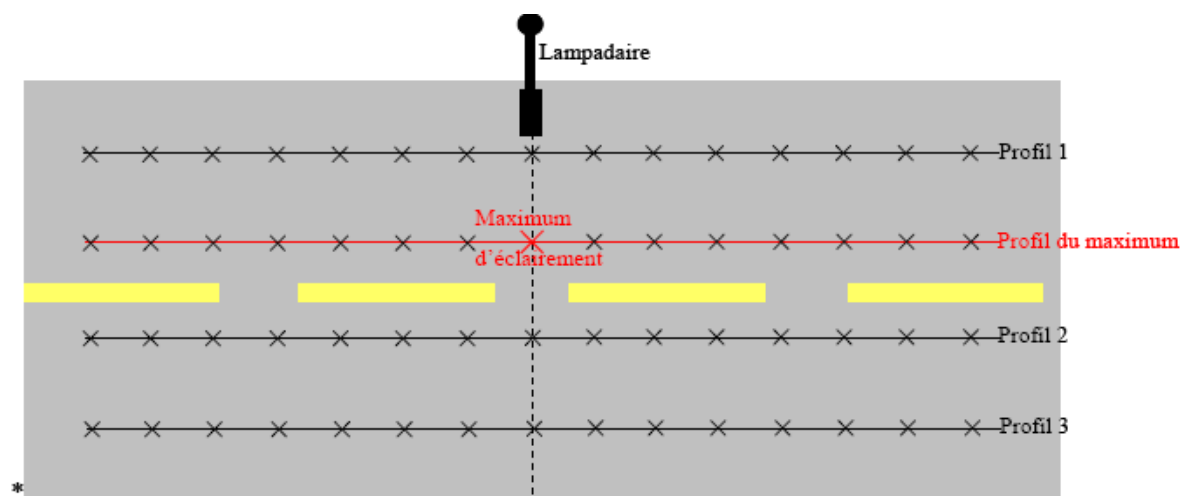
- Donner à la mairie un état de son parc ainsi que des recommandations pour l'optimiser
- Valider notre protocole en vérifiant les points suivants :
  - Retrouver les valeurs d'éclairement et de luminance préconisés par la norme européenne.
  - Apporter un regard critique sur ces valeurs en appréciant l'éclairement à l'œil nu
  - Avoir un ordre de grandeur de l'albédo moyen d'une route sèche (le temps était sec)
  - Estimer les incertitudes pour les mesures d'éclairement ainsi que de pour la mesure de luminance
  - Vérifier l'additivité des éclairements en choisissant un endroit où la route est éclairée simultanément par 2 sources identiques.
  - Caractériser complètement un type de lampadaire en mesurant l'éclairement reçu par la route en fonction de la distance au lampadaire.
  - Remonter aux valeurs de l'indicatrices d'intensité de l'ampoule par le calcul.
  - Vérifier la fonction d'atténuation en cosinus de la sonde du luxmètre

## Déroulement des tests : mesures (2-3/04/08)

Nous avons démarré les mesures à la tombée de la nuit. Elles se sont terminées vers 2 H 30 mn. Nous avons effectué les mesures suivantes :

### Protocole de mesure utilisé

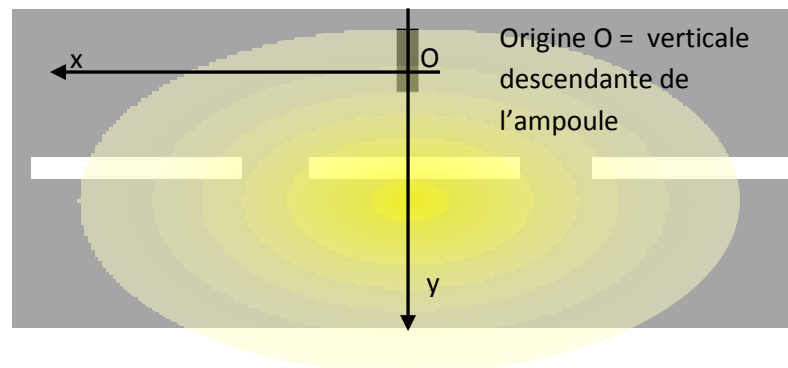
Notre protocole consiste à effectuer une grille de mesures d'éclairage au pied d'un lampadaire isolé des autres, de manière à en vérifier ses caractéristiques : valeurs absolues du flux lumineux, forme de l'indicatrice d'intensité. Selon la précision voulue on choisira une distance entre les points de mesure plus ou moins grande : typiquement de 1 à 2 m. On effectuera des mesures suivant différents profils longitudinaux, en prenant garde de rechercher d'abord le profil du maximum d'éclairage (en rouge sur la figure suivante). On remarquera que, compte tenu de l'angle d'inclinaison non nul de la tête du lampadaire, dans le cas général le maximum d'éclairage ne se situe pas directement à l'aplomb de l'ampoule mais à une position décalée.



De ces mesures d'éclairage on peut en déduire la répartition spatiale de l'éclairage au sol (« carte d'éclairage »), puis une allure de l'indicatrice d'intensité de l'ensemble {ampoule + tête}. On suppose connaître la hauteur du lampadaire, l'inclinaison de la tête par rapport à l'horizontale et la position de chaque point de mesure par rapport au pied du lampadaire (ou par rapport à la verticale de l'ampoule).

### Première mesure :

Nous avons commencé par caractériser le premier type de lampadaire présent à Vichères : il s'agit d'un lampadaire classique de type Marianne (fabricant Thorn) avec une lampe à vapeur de mercure de 125W. Nous avons repéré deux lampadaires de ce type qui pouvaient se prêter à nos mesures : ils sont isolés des autres, la route n'est pas trop en pente, il y a suffisamment de place autour pour pouvoir explorer plusieurs profils d'éclairément.

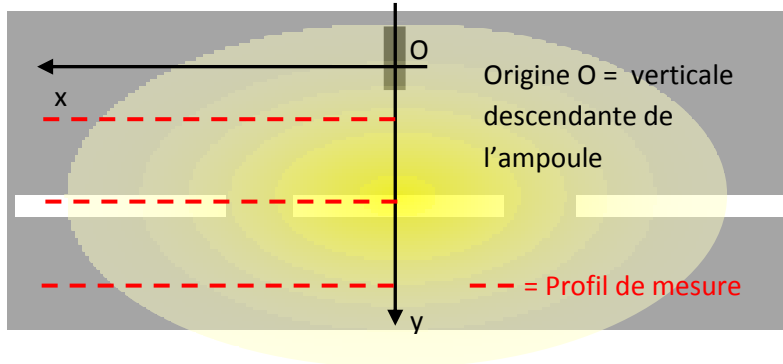


Le premier lampadaire offrait une grande place (environ 20 m) dans la direction transversale (Oy) mais se prêtait moins bien à des mesures longitudinales dans la direction (Ox) à cause de la pente de la route. Nous avons donc mesuré un profil avec un bon échantillonnage dans la direction (Oy). Nous avons effectué 16 mesures avec un espacement de 1m entre chaque. En chaque point nous mesurons l'éclairément plan et l'éclairément direct, que l'on peut représenter sur le même graphe, en fonction de la distance à l'origine. **(Cf Annexe 3)**

On peut déjà remarquer une décroissance assez rapide de l'éclairément dans la direction transversale. Sur le bord droit de la route on a un éclairément plan 16 fois plus faible que sur le bord gauche : on passe de 4,9 lux à 0,3 lux. L'éclairage n'est pas du tout uniforme. Si l'on se réfère à la norme européenne, on doit respecter la classe d'éclairage CE5, qui préconise au minimum 7,5 lux d'éclairément moyen minimum. On voit qu'on est nettement en dessous, avec une moyenne de 2,4 lux. Visuellement ce résultat se vérifie : même si l'éclairage est suffisant pour distinguer la chaussée du bas coté il est insuffisant pour reconnaître les formes et les détails grossiers.

### Seconde mesure :

Sur le second lampadaire (du même type mais de hauteur différente 8m) nous avons réalisé 3 séries de mesures selon l'axe (Ox), à des y différents pour chaque série. Nous obtenons ainsi 3 profils longitudinaux de l'éclairage.



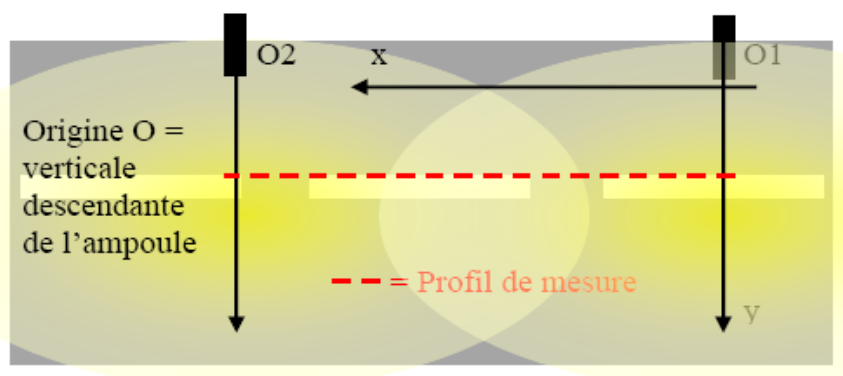
Nous avons supposé l'indicatrice symétrique par rapport au plan (Oyz), c'est pourquoi nous n'avons effectué les mesures que dans le demi plan des x positifs. Nous avons fait 3 séries de mesures d'éclairage espacées de 2m, pour  $y=0$  m, 2 m et 4 m. (Cf Annexe 4)

En ce qui concerne l'évolution des courbes en fonction de x on note qu'à partir d'une certaine valeur aux environs de 7m l'éclairage suit la même évolution sur les 3 profils, alors que pour des x plus petits les profils se séparent suivant l'ordre donné par le profil transverse. Cela signifie d'une part que l'on est pas allé explorer assez loin en x pour constater une décroissance en x significative des profils longitudinaux, et d'autre part que l'on a une bonne uniformité de l'éclairage le long de la route (qui va de  $x=0$  à  $x=4$ m).

Du point de vue des valeurs d'éclairage on est au dessus des valeurs relevées sous le premier lampadaire puisqu'on avait mesuré 5 lux en ( $x=0$ ,  $y=2$ ) alors qu'on mesure ici presque 12 lux en ce même point. Cela provient de la hauteur plus faible du second lampadaire : 8 m au lieu de 10 m. Cependant cela ne suffit pas à respecter la norme européenne car à 6m du lampadaire on descend en dessous de 7.5 lux, valeur minimale préconisée.

### Troisième mesure :

Nous avons choisi un endroit où la route est éclairée par deux lampadaires identiques suffisamment rapprochés pour pouvoir mesurer une superposition des éclairagements de chacun afin de vérifier l'additivité des éclairagements. Les deux lampadaires sont du même type que les deux précédemment étudiés. Les mesures ont été effectuées sur un profil longitudinal à 3 m de chacun des lampadaires, avec un espacement de 2 m entre chaque mesure.



(Cf Annexe 5)

On remarque encore une fois que l'éclairage n'est pas du tout uniforme, le recouvrement des taches d'éclairage des deux lampadaires a bien lieu, mais il est nettement insuffisant du fait de l'éloignement trop important des deux lampadaires. On peut vérifier ce profil en sommant deux profils d'éclairage mesurés précédemment avec un lampadaire isolé. Le problème est qu'on n'a mesuré aucun profil longitudinal à  $y=3\text{m}$  (on a mesuré à  $y=0,2$  et  $4\text{m}$ ). On va estimer le profil à  $y=3\text{m}$  en faisant la moyenne de celui à  $y=2\text{m}$  et de celui à  $y=4\text{m}$ . (Cf Annexe 6)

Le profil mesuré concorde tout à fait avec le profil calculé, on a donc bien un recouvrement des deux profils. Cependant cela n'enlève rien au fait que l'éclairage reste insuffisant au regard de la norme européenne.



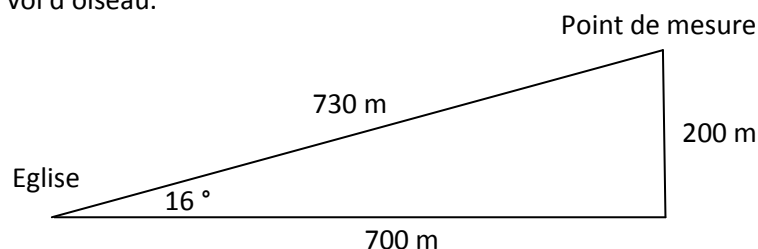
## Mesures de luminance de fond de ciel à proximité de Vichères

### Situation du point de mesure :

Nous nous sommes placés à un endroit dégagé légèrement en hauteur de manière à avoir la totalité de la commune dans notre champ de vision. Nous avons effectué nos mesures sur la route de Rougemont, à environ 1km à vol d'oiseau de l'Eglise de Vichères, qui sera prise comme origine de la commune. Le point de mesure est marqué d'un cercle rouge sur la photo satellite suivante (source Google Earth). (Cf Annexe 7)

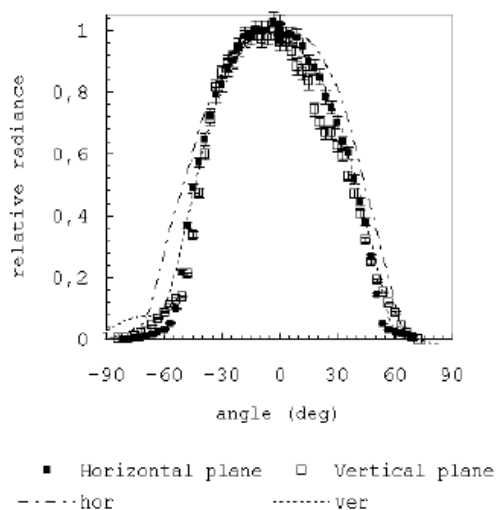
Il importe à présent de connaître la position exacte de notre point de mesure par rapport au centre de la ville. Pour cela il suffit de connaître sa position projetée dans le plan de la carte (que nous mesurons directement sur celle ci) ainsi que son altitude, mesurée grâce aux courbes de niveau. La mesure d'altitude est faite sur la carte précédente et la mesure de distance plane est faite sur une carte IGN numérique au 10000<sup>ème</sup> (1cm = 100m). (Cf Annexe 7)

On mesure une altitude de 200 +/- 50 m pour l'altitude relative et une distance plane de 700 +/- 50 m ce qui donne un angle d'inclinaison de  $\text{Arctan}(2/7) = 16^\circ$  par rapport à l'horizontale, et une distance de 730 m à vol d'oiseau.



### Appareil de mesure :

Nos mesures de luminances ont été effectuées au moyen d'un appareil destiné aux astronomes, le Sky Quality Meter (SQM) de la marque mécASTRONic, qui donne une valeur moyenne de la luminance reçue par le capteur dans un angle solide de +/- 60° autour de la direction de visée (cône d'angle au sommet 120°). Le capteur, dont la courbe de sensibilité est représentée sur la figure suivante, collecte 75% de l'énergie lumineuse environ entre -30° et +30°.



Les mesures ne pourront donc être significatives que si elles sont prises à une grande distance angulaire les unes des autres (au moins 30-40°) de manière à éviter un recouvrement angulaire des zones de 2 mesures adjacentes. Prendre des mesures rapprochées n'aurait pas de sens.

Pour cette raison notre série de mesure servira surtout à vérifier les ordres de grandeur de la luminance reçue dans des directions franches (0°, 90°, 180°) et de vérifier la décroissance de la luminance lorsqu'on s'écarte de la direction du village (0°). Ayant demandé à la commune de Vichères d'éteindre les lampadaires du bourg à 2h00 nous pouvons également quantifier la contribution de la commune à la luminance de fond de ciel en effectuant des mesures de luminance avant puis après l'extinction.

### Conditions de mesure :

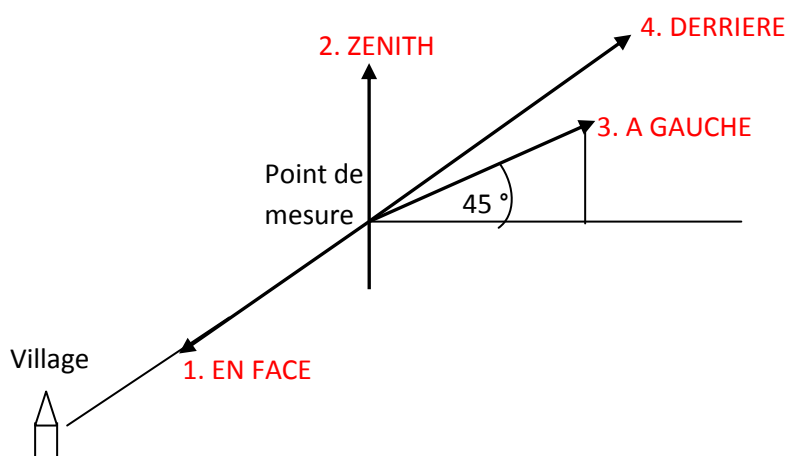
- Temps dégagé
- Humidité de l'air normale
- Température de l'air : 15° environ

### Protocole expérimentale :

Compte tenu de l'ouverture très importante du capteur (60°) et de l'angle d'inclinaison par rapport à l'horizontale faible devant celui-ci (~15°) nous allons négliger cet angle d'inclinaison et considérer que nous sommes dans le cas idéal d'une mesure au sol sur terrain dégagé, à 700m du village. Nous avons mesuré la luminance reçue dans 4 directions angulaires :

1. Face au village : inclinaison 0°, azimut 0°
2. Au zénith : inclinaison 90°
3. A gauche : inclinaison 45°, azimut 90°
4. Derrière : inclinaison 0°, azimut 180°

NB : inclinaison désigne l'angle par rapport à l'horizon et azimut l'angle par rapport au village dans le plan horizontal.



Pour chacune des 4 directions nous avons effectué 5 mesures avant l'extinction et 5 mesures après l'extinction.

Les mesures ont été effectuées entre 1h30 et 2h30 du matin, l'extinction ayant été programmée à 2h00.

### **Exploitation des mesures et résultats : (Cf Annexe 8)**

D'emblée on peut faire plusieurs remarques générales :

- Conformément à notre modélisation la luminance du ciel est maximale dans la direction de la source (en face), ce qui intuitivement paraît logique.
- Sur le demi-cercle d'azimut nul (Face->Zénith->Derrière) on observe bien une décroissance de la luminance quand la ville est allumée. Il en est de même sur le trajet Face->Gauche->Derrière.
- Dans toutes les directions on note une différence notable après l'extinction, ce qui signifie que la contribution des lumières de Vichères n'est pas négligeable devant la luminance de fond de ciel ambiante.
- Les valeurs mesurées après l'extinction présentent la même décroissance qu'avant l'extinction, ce qui théoriquement ne devrait pas arriver. Cela provient du fait que l'extinction n'était pas totale, la commune a éteint les lumières du bourg mais il restait encore quelques points lumineux allumés en périphérie (une minorité).

On peut maintenant comparer les valeurs mesurées aux valeurs seuil de luminances calculées théoriquement par Julien LOZI et Adrien BAK dans leur étude de spécification de la pollution lumineuse (étude réalisée en décembre 2006 pour l'AFA).

D'après leur travail la luminance du ciel ne doit pas dépasser  $6,3 \cdot 10^{-4}$  cd/m<sup>2</sup> pour pouvoir observer une étoile de magnitude 6. D'après nos mesures avant extinction ce critère est satisfait pour les directions suivantes : au zénith, à gauche et derrière. L'observation d'une étoile de magnitude 6 est donc possible à 700 m de Vichères dans un grand domaine angulaire. Il ne faut évidemment pas chercher à observer une étoile dans la direction de la commune où la luminance excède 6,3 cd/m<sup>2</sup>.

Pour l'observation de la voie lactée, on peut considérer que cette dernière sera visible dès que la luminance du ciel sera inférieure aux valeurs suivantes :

A 20° au dessus de l'horizon :  $4,9 \cdot 10^{-4}$  cd/m<sup>2</sup>

A 20° au dessus de l'horizon :  $6,8 \cdot 10^{-4}$  cd/m<sup>2</sup>

Au zénith :  $7,4 \cdot 10^{-4}$  cd/m<sup>2</sup>

Là encore d'après nos mesures on remarque que l'observation de la voie lactée est possible dans toutes les directions de l'espace sauf dans l'angle solide de la source, c'est à dire excepté dans le domaine angulaire :  $[- 45^\circ, +45^\circ]$  pour l'azimut et  $[ 0^\circ, 45^\circ]$  pour l'angle par rapport à l'horizon.

Nous avons remarqué effectivement à l'œil nu que les étoiles étaient parfaitement visibles dans les directions éloignées de la commune.

Nous avons ici vérifié par des mesures sur le terrain les principales propriétés d'un halo lumineux standard : valeur maximale dans la direction de la source, décroissance lorsqu'on s'éloigne de celle-ci. Nos mesures nous ont permis également de valider les spécifications de l'étude sur la pollution lumineuse d'une part parce que les valeurs mesurées sont tout à fait compatibles avec les ordres de grandeurs des valeurs seuil calculées, et d'autre part car nous avons vérifié ces seuils de visibilité à l'œil nu.

Ce travail expérimental nous permet désormais d'affirmer d'un point de vue scientifique que la commune de Vichères contribue de façon significative à la luminance parasite de fond de ciel, dans toutes les directions d'observation. Vu la petite taille de la commune (moins de 20 points lumineux de faible puissance) cette contribution est relativement faible et nous permet cependant de réaliser des observations astronomiques de bonne qualité dès que l'on évite de viser la direction du halo lumineux (au zénith ou derrière par exemple).

Les valeurs de nos mesures restent cependant approximatives non pas à cause de l'incertitude de répétibilité, mais à cause de la grande ouverture du capteur. Pour faire des mesures plus précises et vérifier par exemple la forme du halo lumineux, dont la modélisation numérique a déjà été réalisée, il faudra utiliser un luminancemètre directif possédant une grande sensibilité, et effectuer un grand nombre de mesures.

## CONCLUSION

L'ensemble de cette étude sur les points lumineux de la ville de Vichères a mis en avant plusieurs points importants :

- Tout d'abord, dans l'ensemble, l'éclairage au sol est très irrégulier, avec des valeurs faibles en dessous des lampes et qui diminuent très rapidement dès lors que l'on s'éloigne quelque peu dans n'importe quelle direction.
- Sur l'ensemble de la ville, les valeurs mesurées pour l'éclairage sont principalement en dessous des recommandations de la norme européenne en matière de sécurité, ce qui indique un sous-éclairage. En effet, même s'il est possible de voir les bords de la route et principales indications, les détails ne sont pas visibles, et cela peut être préjudiciable.
- Les lampes ont maintenant un âge relativement avancé, et leurs performances s'en ressentent.
- L'utilisation de la technologie de sodium haute pression, même si elle assure un rendement correct, produit un éclairage jaune peu agréable à l'œil, et parfois lugubre.
- Les lampes ne sont pas optimisées du point de vue de la direction des flux.
- Pour les lampes de type Marianne, l'angle de leur tête envoie de la lumière vers le ciel et hors des routes. De plus, leur capot est plus que rudimentaire et n'assure pas un bon renvoi de la lumière.
- Pour les lampes de type EP140, les vitres en verre fumée induisent une perte d'éclairage importante. De plus, l'absence de capot réfléchissant induit une perte de flux.
- Le projecteur d'illumination de l'église n'a pas été pris en compte dans cette étude étant donné qu'il est installé uniquement à des fins esthétiques.

Ces conclusions sont à pondérer avec l'utilisation qui est faite par la municipalité de Vichères de son éclairage. En effet, la politique d'éteindre le parc à 22h est à prendre en compte dans l'ensemble des considérations effectuées.

## RECOMMANDATIONS

Nous sommes conscients des problématiques budgétaires rencontrées par les municipalités lorsqu'il s'agit de renouvellement de biens publics. Nous ne conseillons donc pas de changer dans l'immédiat un éclairage qui remplit déjà partiellement son rôle.

Cependant, lors du prochain renouvellement partiel ou complet de parc d'éclairage public de la ville de Vichères nous recommandons la mise en place de lampes :

- En remplacement des Mariannes, des unités possédant des lampes incrustées dans leur capots, avec vitre de sortie plate, de préférence utilisant des lampes de 125W à vapeur de mercure, pour leur qualités de rendement et leur lumière blanche. Un exemple d'une telle unité est le Triumph de la marque THORN
- Pour les EP, si le souhait est de conserver un type de lanternes au design « ancien », nous recommandons d'éviter la gamme EP, pour privilégier des lanternes avec lampe interne, entourée de réflecteurs avec un capot de sortie bombé afin d'assurer une répartition des flux correcte pour ces lanternes placées généralement à faible hauteur. La puissance utilisée peut varier entre 80 et 125 W en fonction de la technologie utilisée. Nous recommandons le modèle Nerine à vasque ronde de la marque THORN.

Ces deux types de lampes sont sensiblement similaires en apparence à ceux déjà en place à Vichères. Cependant, leur rendement et leur qualité d'éclairage n'ont rien de comparable et vous permettrait d'obtenir une qualité d'éclairage accrue dans la ville. De plus, leur technologie de direction des flux vous assurerait d'avoir l'intégralité de la lumière produite dirigée vers les zones utiles.