

Contribution du mobilier urbain éclairé de la ville de Paris à la pollution lumineuse

Philippe Deverchère, Sébastien Vauclair, Michel BonavitaCola
DarkSkyLab

Septembre 2017

Des recherches de plus en plus nombreuses¹ mettent en avant les effets néfastes de l'éclairage nocturne sur la santé humaine et plus généralement sur les écosystèmes. A ce titre, il devient important de concevoir, de dimensionner et d'implémenter correctement les parcs d'éclairage public de manière non seulement à minimiser les impacts environnementaux mais aussi à mieux contrôler les budgets des collectivités locales dédiés à ce poste de dépense. En utilisant un modèle de simulation développé par le bureau d'études DarkSkyLab pour mener à bien des diagnostics d'éclairage, cet article montre quelle est la contribution des dispositifs publicitaires éclairés de la ville de Paris à la pollution lumineuse produite par l'éclairage public de la capitale.

La pollution lumineuse est produite essentiellement par l'éclairage public et industriel et dans une moindre mesure par l'éclairage résidentiel privé. Cette lumière artificielle peut être émise directement vers le ciel par les sources lumineuses, ou bien être réfléchiée par les terrains et bâtiments autour de ces dernières (avec un albédo plus ou moins élevé en fonction de leur nature). La lumière est ensuite diffusée par les molécules de gaz de l'atmosphère et par les aérosols en suspension dans celle-ci (poussières, molécules complexes, etc.), et cette diffusion de la lumière provoque l'apparition de halos lumineux au-dessus des agglomérations, halos qui peuvent être visibles à de grandes distances. L'effet le plus notable de ces halos est l'extinction du ciel nocturne, provoquant par exemple une diminution importante du nombre d'étoiles visibles à l'œil nu. Ainsi, on estime qu'un tiers de l'humanité ne peut plus voir la Voie lactée (dont 80 % des nord-Américains et 60 % des européens) du fait de la présence de pollution lumineuse. D'autres effets sont plus insidieux et l'on peut citer par exemple les impacts sur le déplacement des espèces nocturnes et la migration des oiseaux, la perturbation du cycle de reproduction des végétaux, une surmortalité de certaines espèces d'insectes ou bien des effets négatifs sur la santé des riverains qui subissent un éclairage nocturne excessif. Toutes ces raisons font que l'étude de la pollution lumineuse devient un sujet de recherche scientifique actif au niveau international^{2,3,4}.

I. ECLAIRAGE PUBLIC DE PARIS

Le site Paris Data met à disposition un grand nombre de jeux de données publiés par les services de la Ville de Paris. Cela inclut en particulier les données d'éclairage public qui intègrent tous les dispositifs du parc d'éclairage géré par la ville ainsi que le mobilier urbain éclairé, représentant 126 941 points lumineux auxquels sont associées des informations détaillées: type de dispositif, géolocalisation précise, type d'ampoule, puissance consommée, etc. L'existence de ces données permet de simuler de manière précise la pollution lumineuse induite par le parc d'éclairage, ceci à l'aide d'un logiciel spécialisé appelé **Otus** mis au point par le bureau d'études DarkskyLab. Cet outil s'inspire du modèle Thotpro⁵ développé dans les années 1990 par Michel BonavitaCola et son équipe. Thotpro s'appuie en particulier sur une heuristique

déterminée à la fin des années 1970 par Walker⁶ et qui relie le flux lumineux émis par les agglomérations à leurs populations (avec une pondération par différents paramètres d'ajustement). Il existe d'autres méthodes pour modéliser la pollution lumineuse, par exemple l'utilisation de statistiques sur la nature des sols à partir de bases de données telles que *Corine Land Cover* ou bien l'exploitation d'images satellites.

La *figure 1* montre un extrait d'une carte de Paris dans laquelle le parc d'éclairage public est positionné (hors mobilier urbain).

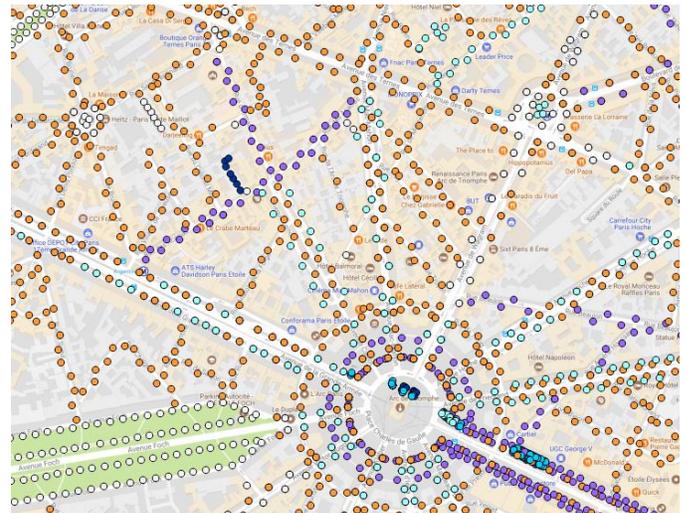


Figure 1 – Extrait d'une carte de Paris dans laquelle le parc d'éclairage public est positionné (hors mobilier urbain).

La couleur de chaque dispositif d'éclairage indique le type de lampe utilisé selon la légende suivante :

- | | |
|-------------------------|---------------------------|
| ● Sodium basse pression | ● Halogénures métalliques |
| ● Sodium haute pression | ● Tube fluorescent |
| ● Incandescence | ● Fluo-compacte |
| ● Halogène | ● Induction |
| ○ Ballon fluo | ● LED |

Le logiciel Otus implémente un modèle qui prend en entrée des bases de données de sources lumineuses géolocalisées ainsi que leurs caractéristiques physiques. Chaque source discrète (associée par exemple à un lampadaire ou à un projecteur) est caractérisée en particulier par sa puissance et son

ULOR (*Upward Light Output Ratio*, qui représente la fraction du flux lumineux d'un lampadaire émis au-dessus de l'horizontale). Le modèle implémenté dans Otus généralise la loi de Walker avec une heuristique de calcul faisant intervenir la puissance de la source, son ULOR et l'albédo du terrain environnant. Cette heuristique a été affinée en comparant les résultats de simulation obtenus à des mesures de brillance du fond de ciel réalisées sur le terrain. Le modèle implémenté dans Otus permet donc de produire des cartes qui sont en conformité avec l'implantation réelle des réseaux d'éclairage. Une simulation Otus réalisée avec toutes les sources lumineuses de l'éclairage public de Paris (hors mobilier urbain éclairé) a permis de produire la carte présentée en *figure 2*. La présence d'une grande densité de sources à moyenne puissance dans certains quartiers, en particulier dans le 17^e arrondissement et dans les quartiers des Champs-Élysées, de Nation et d'Auteuil, induit des zones de pollution lumineuse comparativement plus importantes que dans d'autres quartiers de la capitale. Des zones comme les 10^e et 19^e arrondissements, Montmartre, Saint-Sulpice et le Marais semblent moins éclairées du fait de l'utilisation de lampadaires à plus basse puissance. On voit sur cette carte que la simulation au niveau des sources lumineuses discrètes permet de faire apparaître des différences significatives entre des zones d'une même agglomération. Les effets des changements dans les parcs d'éclairage peuvent donc être anticipés à une échelle locale à l'aide de simulations.

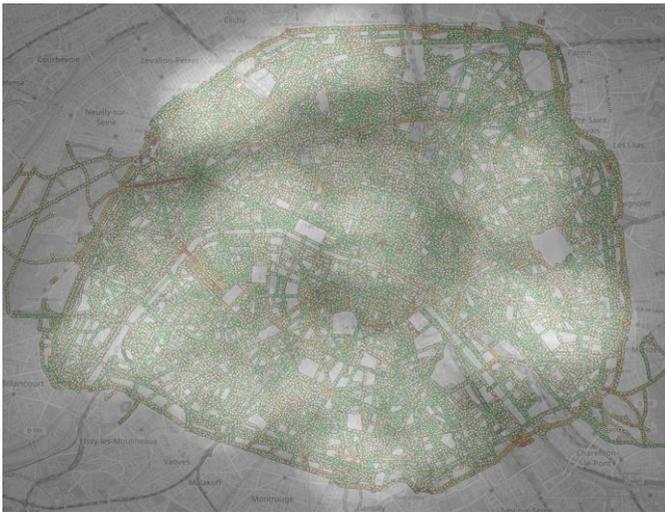


Figure 2 – Simulation Otus réalisée avec toutes les sources lumineuses de l'éclairage public de Paris (hors mobilier urbain éclairé). Le niveau de gris utilisé dans la carte est représentatif d'un indice de qualité de ciel et témoigne donc du niveau de pollution lumineuse en chaque point.

II. CONTRIBUTION DU MOBILIER URBAIN

Outre les points lumineux de l'éclairage public, le jeu de données open Data de la ville de Paris intègre les dispositifs de mobilier urbain éclairé. Ces dispositifs sont de 3 types:

- Panneaux d'affichage municipal et publicitaire (code MUPi) sous forme de sucettes de 2 m² sur 2 faces (1 230 dispositifs) ;
- Abribus (code ABB) représentant 1 834 dispositifs ;
- Stations de taxi avec abri (code ABP) représentant 182

dispositifs.

La carte de la *figure 3* montre l'implantation de ces dispositifs dans Paris (les sucettes de 2m² sont représentées par des points rouges et les abribus et stations de taxi par des points bleus).

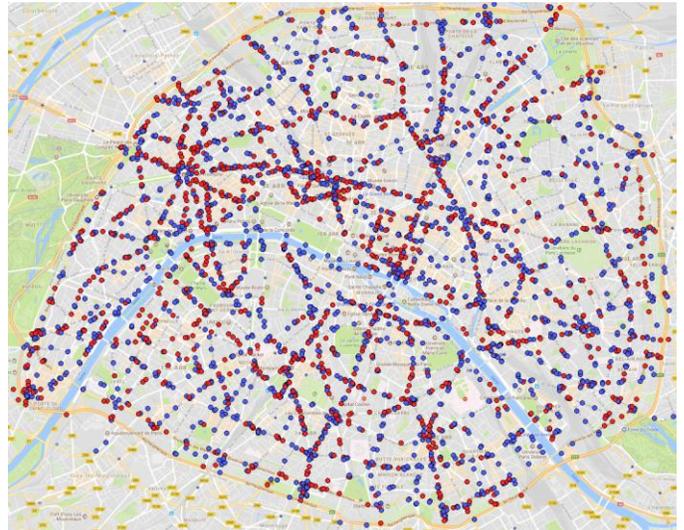


Figure 3 – L'implantation des dispositifs de mobilier urbain éclairé (les sucettes de 2m² sont représentées par des points rouges et les abribus et stations de taxi par des points bleus).

Une simulation incluant uniquement ces 3 246 dispositifs éclairés a été réalisée avec le logiciel Otus et la carte de pollution lumineuse résultante est présentée en *figure 4*. Des hypothèses simplificatrices ont été utilisées concernant les caractéristiques des sources lumineuses associées, en particulier les suivantes: 90% de la puissance déclarée dans les données est utilisée pour l'éclairage, un ULOR de 50% est utilisé pour les panneaux de type MUPi et un ULOR de 28% est utilisé pour les abribus et les stations de taxi (en effet, un des côtés de l'affichage est couvert par le toit de l'abribus ou de la station).

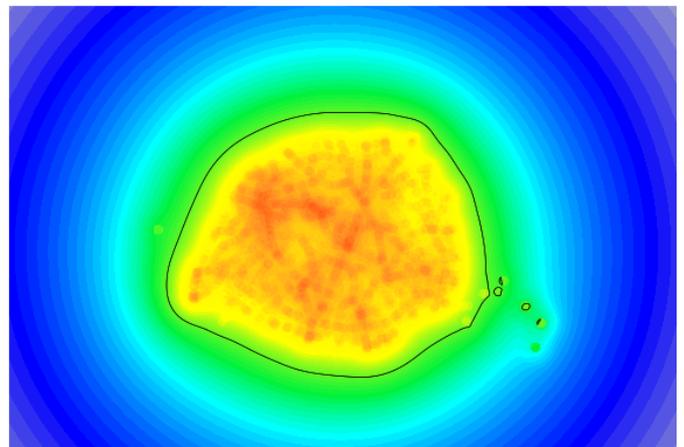


Figure 4 – Carte de pollution lumineuse produite par simulation de l'ensemble des dispositifs de mobilier urbain éclairés de la ville de Paris.

Sur cette carte, un indice de qualité de ciel (et donc le niveau de pollution lumineuse) est représenté par une échelle de couleur qui est propre au modèle Otus. Le tableau suivant montre les différents niveaux de cette échelle. Les magnitudes limites approximatives visibles à l'œil nu sont indiquées⁷ et on

fournit à titre informatif le nombre d'étoiles qui seraient visibles pour la magnitude limite correspondante depuis un point d'observation situé à la latitude de Paris dans la nuit du 27 mars 2017 (au-dessus de 10° de hauteur et en étant protégé d'un éclairage direct). On indique également la correspondance avec l'échelle de Bortle qui est couramment utilisée pour représenter la pollution lumineuse.

Couleur Bortle	Classe Bortle	Couleur Otus	Magnitude limite	# d'étoiles visibles	Voie Lactée
	1		≥ 7	> 6700	Spectaculaire
	2		≥ 6.5	> 3800	Très détaillée
	3		6	2130	Nombreux détails
			5.5	1150	Quelques détails
	4		5.25	950	Affaibli à l'horizon
	4.5		5	640	Visible au zénith
	5		4.75	520	A peine visible
	6		4.5	330	Presque invisible
	7		4.25	220	Invisible
Blanc	8		4	190	Invisible
Blanc	9		≤ 3.5	≤ 90	Invisible

On peut donc constater que l'éclairage du mobilier urbain (dispositifs utilisés en grande partie à des fins publicitaires) suffit à lui seul à « éteindre » le ciel de Paris. Si tout l'éclairage public de Paris hors mobilier urbain était éteint (ce qui constitue le contexte de cette simulation), la Voie lactée serait donc à peine visible depuis la plupart des rues de la capitale.

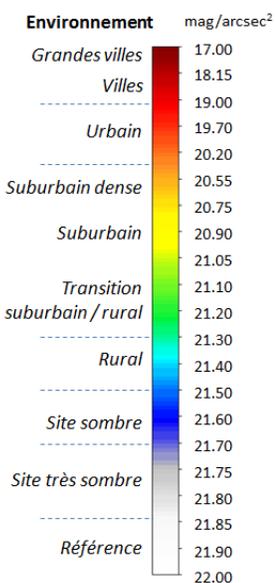


Figure 5 – Échelle montrant la correspondance entre les couleurs des cartes produites par le logiciel Otus et la luminosité de fond de ciel exprimée en magnitudes par seconde d'arc au carré (mag/arcsec²).

On a représenté dans la carte de la *figure 4* un isocontour correspondant à une luminosité d'environ 21,1 mag/arcsec² qui est typique d'un environnement de transition entre des zones suburbaines et rurales comme le montre l'échelle présentée en *figure 5*. Dans cette échelle, les couleurs du modèle Otus sont mises en correspondance avec les valeurs de luminosité du fond de ciel exprimées traditionnellement en magnitudes par seconde d'arc au carré (mag/arcsec²).

De très rares zones en France métropolitaine atteignent des valeurs de 21,8 mag/arcsec² (où la Voie lactée devient spectaculaire) et une simulation de l'ensemble de l'éclairage public de la ville de Paris fait apparaître des niveaux compris entre 17 et 18 mag/arcsec² sur toute l'agglomération.

III. AJOUT DE DISPOSITIFS VIDEO NUMERIQUES

La presse s'est récemment faite l'écho d'un projet de mise

en place d'un grand nombre de dispositifs de vidéo numérique à des fins publicitaires sur les abribus et stations de taxi existants. Il nous a donc semblé intéressant de vérifier à l'aide d'une simulation quel serait l'impact de l'introduction de tels dispositifs en termes de pollution lumineuse.

La carte de la *figure 6* montre le résultat d'une simulation dans laquelle 244 dispositifs de vidéo numérique de 2 m² ont été distribués aléatoirement sur les abribus et stations de taxi existants de la ville de Paris. Là aussi, certaines hypothèses simplificatrices ont été mises en œuvre. On a utilisé en particulier une puissance consommée de 400W par m² conduisant à une puissance lumineuse équivalente de 1200W par panneau de 2 m². Ces hypothèses peuvent bien sûr être discutées, mais elles ne changent pas fondamentalement la nature de la contribution des écrans vidéo numériques à la pollution lumineuse.

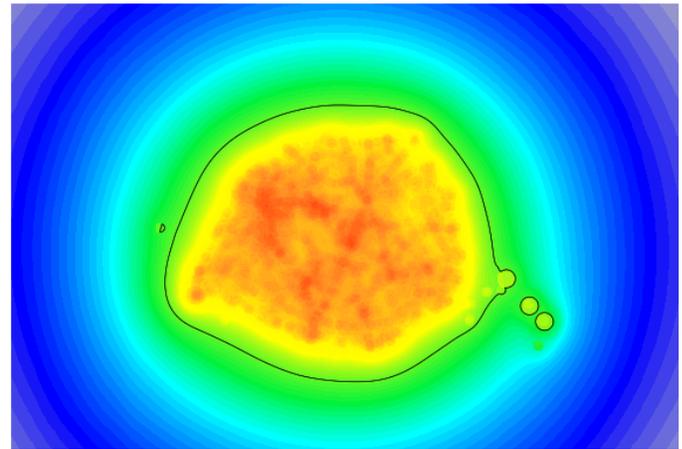


Figure 6 – Résultat d'une simulation dans laquelle 244 dispositifs de vidéo numérique de 2 m² ont été distribués aléatoirement sur les abribus et stations de taxi existants de la ville de Paris.

Si l'on compare cette carte à la précédente (*figure 4*), on constate un net élargissement de l'isocontour à 21,1 mag/arcsec² et un renforcement significatif des niveaux de pollution lumineuse dans les zones de la capitale où le mobilier urbain éclairé est majoritairement présent. L'introduction d'un nombre important de panneaux publicitaires numériques constitue donc clairement un facteur aggravant en termes de pollution lumineuse. Il faut aussi noter que les écrans vidéo numériques à base de LEDs émettent une partie importante de leur flux lumineux dans la partie bleue du spectre, ce qui est particulièrement nocif en termes d'impact environnemental avec des conséquences avérées sur la santé humaine⁸.

IV. EVALUATION DES IMPACTS ECOLOGIQUES

Comme on peut le voir, l'utilisation d'un modèle de simulation au niveau de sources lumineuses discrétisées permet donc d'anticiper les impacts positifs ou négatifs d'une modification d'un parc d'éclairage public ou d'un ensemble de mobiliers urbains éclairés.

Cette capacité d'anticiper les effets des modifications de l'éclairage public devient un enjeu pour les collectivités dans la mesure où le concept de « trames sombres » (qui définissent une forme de continuité nocturne d'un point de vue écolo-

gique) est en train de prendre une importance croissante pour compléter la connaissance des continuités écologiques basées sur les trames vertes (terrestres) et bleues (aquatiques). Il apparaît en effet clairement que l'identification et le respect de seuils limites en fonction de la sensibilité des espèces à la lumière est une condition importante pour la protection de la biodiversité.

Le bureau d'étude DarksyLab a ainsi conduit une étude de caractérisation des trames sombres sur le territoire du Parc National des Pyrénées et du Parc Naturel Régional des Pyrénées Ariégeoises. Dans le cadre de ce projet, la simulation s'est avérée précieuse pour déterminer les zones d'exclusion écologique induites par la pollution lumineuse et voir ainsi où les efforts devaient se concentrer pour restaurer des couloirs de continuité écologique nécessaires aux différentes espèces étudiées.

A titre d'exemple, les deux cartes de la *figure 7* montrent l'influence qu'aurait une réduction de 30 % de la puissance lumineuse émise ainsi qu'une mise à zéro des ULOR des lampadaires de l'ensemble des communes du Pays de Lourdes et de la Vallée des Gaves sur le Parc national des Pyrénées. Une même valeur d'isocontour est représentée sur les cartes de manière à bien faire apparaître la création de couloirs plus sombres à plusieurs endroits du territoire.

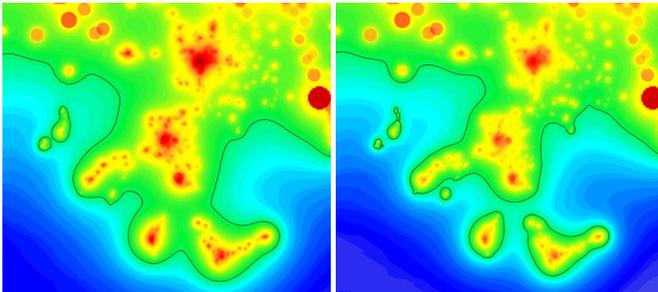


Figure 7 – Influence d'une réduction de 30 % de la puissance lumineuse émise et d'une mise à zéro des ULOR des lampadaires de l'ensemble des communes du Pays de Lourdes et de la Vallée des Gaves sur le Parc National des Pyrénées.

V. CONCLUSION

La capacité à prédire et à mesurer l'impact écologique, économique et environnemental de l'éclairage public et privé devient un enjeu important pour les collectivités territoriales. A ce titre, le développement de modèles et d'outils de simulation représente une étape importante pour que chacun puisse comprendre les conséquences de décisions liées aux réseaux d'éclairage et à la mise en place de mobilier urbain éclairé.

Cet article montre ainsi que l'utilisation d'écrans numériques de grande taille dans l'espace public induit des effets non négligeables en termes de pollution lumineuse avec à la clé des effets sanitaires que l'on commence juste à mieux comprendre.

- 1 Voir la base de données sur les publications ayant trait à la pollution lumineuse sur le site de l'International Dark-Sky Association (<http://www.darksky.org/resources/research/alan-database/>)
- 2 Voir les travaux du Collectif *RENOIR* sur <http://renoir.hypotheses.org/>
- 3 Voir les travaux de Pierantonio Cinzano sur <http://www.lightpollution.it/indexen.html>
- 4 Voir les travaux de Martin Aubé sur <http://cegesherbrooke.qc.ca/~aubema/index.php/Prof/Page>
- 5 Voir « *Vers un contrôle efficace de la pollution lumineuse : l'optimisation de l'éclairage public à partir d'une modélisation précise de la pollution lumineuse* » sur : http://www.astrosurf.com/licomess/dossiers%20PDF/controle_PL.pdf
- 6 Voir "The effects of urban lighting on the brightness of the night sky", Walker, M. F., Astronomical Society of the Pacific, Publications, vol. 89, June-July 1977, p. 405-409.
- 7 Les magnitudes limites estimées présentées ici sont basées sur les travaux du *Light Pollution Science and Technology Institute* en Italie et pas sur les valeurs fournies dans l'article de Bortle qui semblent surestimées. Voir <http://www.inquinamentoluminoso.it/dmsp/starvis.html>
- 8 Voir *Evaluating Potential Spectral Impacts of Various Artificial Lights on Melatonin Suppression, Photosynthesis, and Star Visibility* sur http://ida.darksky.org/refbase/paper_pdfs/aube/2013/282_Aube_etal2013.pdf.