

# Des mesures au sol aux images satellite : quelles données pour étudier la pollution lumineuse ?

■ Christophe PLOTARD - Philippe DEVERCHÈRE - Sarah POTIN - Sébastien VAUCLAIR

*Le développement de l'éclairage artificiel nocturne est à l'origine d'une pollution lumineuse aux effets néfastes pour la biodiversité, la santé humaine, la consommation énergétique et l'observation astronomique. Pour analyser les différentes formes de cette pollution, le bureau d'études DarkSkyLab s'appuie sur plusieurs types de données tels que des mesures depuis le sol, des images satellitaires et aériennes, ou des inventaires de points d'éclairage. Cet article en présente les principaux aspects, de même que divers outils, méthodes et indicateurs conçus pour permettre leur traitement, leur modélisation et leur représentation cartographique.*

## MOTS-CLÉS

Pollution lumineuse, données, mesure, modélisation, cartographie, énergie, biodiversité, astronomie.

Le développement de l'éclairage artificiel nocturne est un marqueur central de l'évolution des sociétés humaines depuis les débuts de la révolution industrielle, et davantage encore depuis la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle. L'occupation des territoires par des activités de plus en plus denses, sur des cycles horaires quotidiens toujours plus longs, est à l'origine de la volonté de prolonger les journées sur les soirées. L'augmentation de l'éclairage artificiel la nuit, permettant de retarder la fin des activités, accompagne donc intimement l'évolution des modes de vie, des économies et des territoires. Elle apparaît comme l'une des principales conséquences et manifestations de l'urbanisation.

Mais l'éclairage artificiel a aussi de nombreuses conséquences négatives : pressions sur la biodiversité, dégradation de la santé humaine, hausse de la consommation d'énergie, obstacles à l'observation astronomique. Pour désigner ces nuisances, on a pris l'habitude de parler de pollution lumineuse. Cette notion peut être étudiée essentiellement sous deux angles : la question de la qualité du ciel nocturne à large échelle, d'une part, et la problématique de l'exposition directe aux sources de lumière, d'autre part. Des méthodes de

mesure et d'analyse, à partir de données diverses, ont été progressivement développées pour traiter ces deux approches.

## L'étude de la qualité du ciel nocturne

Les premiers à s'être saisis du sujet et à militer pour la réduction de la pollution lumineuse et la préservation de l'obscurité naturelle sont les astronomes. La lumière produite par l'éclairage artificiel extérieur (éclairage public, sites industriels, etc.) et, dans une moindre mesure, par l'éclairage intérieur (bureaux, logements, etc.), est diffusée par les

molécules de gaz de l'atmosphère et par les aérosols en suspension. Cette diffusion est à l'origine de la formation de halos lumineux au-dessus des agglomérations, halos qui peuvent être visibles à de grandes distances et qui altèrent la visibilité des étoiles (figure 1). On parle alors de pollution lumineuse diffuse.

À partir des années 1970, les astronomes commencent à chercher des moyens d'étudier la qualité du ciel nocturne et de cartographier cette pollution lumineuse diffuse, pour identifier les lieux qui demeurent favorables à leurs observations. L'une des questions centrales qui se posent est celle de la quantification de la pollution lumineuse : comment la mesurer et comment comparer les mesures d'un lieu à l'autre ?

Un consensus scientifique s'établit dans les années 2000 au sein de la communauté des astronomes pour définir la luminance zénithale comme la grandeur de référence en matière de qualité du ciel nocturne (on l'appelle aussi brillance du fond de ciel nocturne, ou *night sky brightness* en anglais). Elle permet de quantifier le niveau de "luminosité"

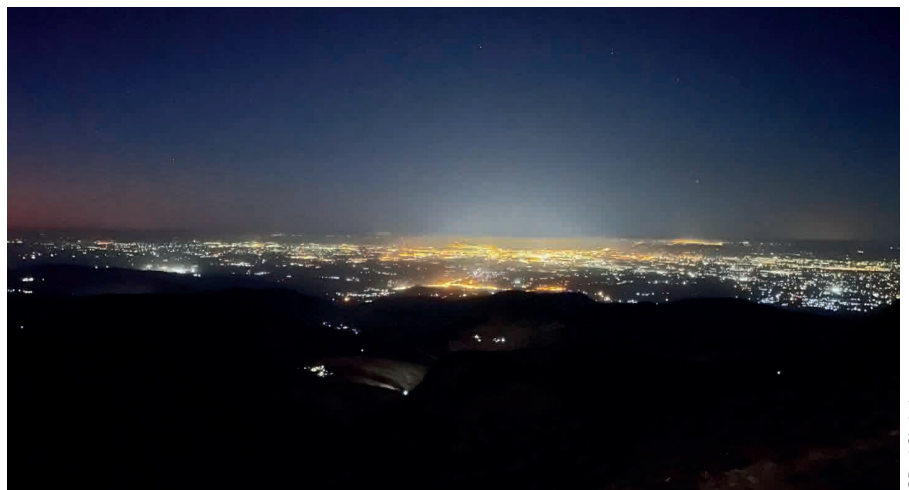


Figure 1. Exemple de halo lumineux au-dessus de la ville de Marrakech.



perçu par un observateur positionné au sol et qui regarde le ciel au zénith. Il s'agit d'une mesure logarithmique dérivée de la magnitude photométrique largement utilisée en astronomie (qui est inspirée de la vision humaine). Elle est exprimée en magnitudes par seconde d'arc au carré ( $\text{mag}/\text{arcsec}^2$ ) et est traditionnellement représentée par une échelle de couleurs qui permet de rapprocher les valeurs de luminance zénithale à d'autres données corrélées à la qualité du ciel nocturne : niveau d'urbanisation, nombre d'étoiles visibles, perception de la Voie lactée, par exemple (figure 2). Une valeur de 17  $\text{mag}/\text{arcsec}^2$  sera ainsi caractéristique d'un ciel très lumineux (centre d'une grande ville), alors qu'une valeur de 22  $\text{mag}/\text{arcsec}^2$  sera typique d'un ciel extrêmement sombre (exemple d'un lieu qui serait très éloigné de toute source de lumière artificielle).

D'abord développée pour l'astronomie, cette approche s'est progressivement étendue à d'autres domaines d'étude, en particulier en écologie. La luminance zénithale est ainsi utilisée aujourd'hui comme une grandeur fiable pour analyser les impacts de la pollution lumineuse sur la biodiversité. Mais l'étude de la brillance du ciel ne peut suffire, à elle seule, à saisir la totalité des impacts de la lumière artificielle sur le monde vivant. En outre, elle présente des limites dès lors qu'il s'agit d'analyser les nuisances lumineuses à une échelle très locale. La prise de conscience croissante des effets néfastes de l'éclairage artificiel sur les êtres vivants (humains, animaux, plantes), et le développement depuis une quinzaine d'années d'une réglementation spécifique sur ce sujet, ont donc conduit à élargir les modalités d'analyse de la pollution lumineuse.

### L'exposition directe aux sources de lumière

Outre la pollution lumineuse diffuse, les êtres humains comme les espèces animales et végétales souffrent également de l'exposition directe aux flux lumineux émis par les sources d'éclairage. Cette pollution lumineuse directe est par exemple celle qui attire et piège des insectes autour des lampadaires la

©DarkSkyLab

Classes de qualité	Échelle de luminance	Échelle d'urbanisation	Échelle stellaire	Échelle galactique	Échelle subjective	Échelle de luminosité
	Luminance zénithale en $\text{mag}/\text{arcsec}^2$	Environnement typique où cette qualité de ciel est rencontrée	Nombre d'étoiles visibles à l'œil nu par ciel clair et sans Lune	Visibilité de la Voie lactée par ciel clair et sans Lune	Énoncé subjectif sur la qualité de ciel nocturne	Luminosité du ciel nocturne sans nuages et sans Lune
1	$\leq 19.5$	Grandes villes	< 100	Invisible	Très mauvais	Très brillant
2	$> 19.5$ et $\leq 20.30$	Urbain	280	Presque invisible	Mauvais	Brillant
3	$> 20.30$ et $\leq 20.75$	Suburbain dense	520	A peine visible	Dégradé	Fortement lumineux
4	$> 20.75$ et $\leq 21.00$	Suburbain	660	Visible au zénith	Passable	Lumineux
5	$> 21.00$ et $\leq 21.25$	Transition suburbain / rural	950	Affaibli à l'horizon	Moyen	Peu sombre
6	$> 21.25$ et $\leq 21.50$	Rural	1200	Quelques détails	Correct	Assez sombre
7	$> 21.50$ et $\leq 21.70$	Site sombre	2300	Nombreux détails	Bon	Sombre
8	$> 21.70$	Site très sombre	> 4000	Spectaculaire	Excellent	Très sombre

Figure 2. Échelles de représentation de la pollution lumineuse utilisées par DarkSkyLab, inspirées de l'échelle de Bortle.

nuit, désoriente les oiseaux migrateurs qui sont gênés par la vue de certaines sources de lumière, ou dérègle chez les mammifères la production de mélatonine, une hormone dont l'action favorise le sommeil et dont la sécrétion est déclenchée par l'obscurité.

Pour cette raison, une deuxième méthode d'analyse de la pollution lumineuse consiste à dénombrer le nombre de sources lumineuses visibles depuis différents points d'un territoire et/ou quantifier l'intensité lumineuse reçue en ces différents points. Schématiquement, cela implique de modéliser en 3D les flux de lumière et d'utiliser un modèle numérique de surface (MNS) pour prendre en compte les effets de masquage liés au relief, à la végétation ou au bâti. Cette pollution lumineuse directe peut être exprimée en nombre de points lumineux visibles ou en lux, qui est une unité d'éclairement (flux lumineux par unité de surface).

### Données de luminance zénithale acquises depuis le sol

La question de la pollution lumineuse ayant été initialement soulevée par les astronomes, l'approche scientifique a d'abord consisté à analyser la qualité du ciel depuis le sol. L'acquisition de données se fait à l'aide d'instruments mesurant le niveau de luminance du ciel nocturne : ces photomètres disposent d'un capteur de lumière qui est orienté vers le zénith.

Le système de mesure le plus abouti à ce stade est celui développé par le bureau d'études français *DarkSkyLab*, spécialisé depuis 2014 en mesure, analyse, modélisation et cartographie de la pollution lumineuse. Une fois installé, cet appareil baptisé Ninox peut opérer de manière autonome et continue pendant plusieurs mois, voire années, sans qu'aucune intervention ne soit nécessaire de la part d'un opérateur ni qu'une connexion Internet ne soit requise (figure 3). Les données sont enregistrées nuit après nuit, à une fréquence d'environ une mesure par minute dès que le Soleil est à plus de 8° sous l'horizon, quelles que soient les conditions météorologiques.

À partir des données enregistrées au cours d'une nuit, il est possible de représenter graphiquement les variations



©DarkSkyLab

Figure 3. Dispositif de mesure Ninox développé par DarkSkyLab.

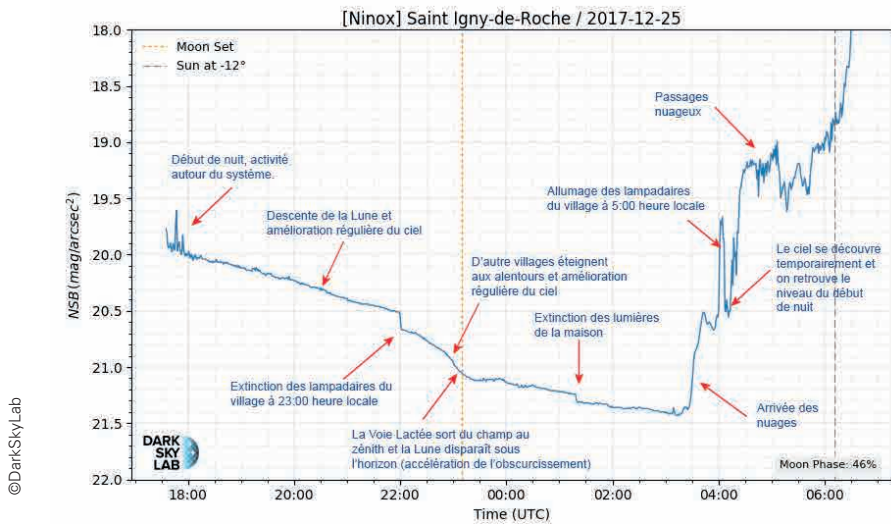


Figure 4. Exemple d'un profil de nuit à partir de données Ninnox.

de luminance zénithale en fonction du temps. On constate traditionnellement une diminution rapide de la luminance en début de nuit, correspondant au coucher du Soleil, et une augmentation rapide en fin de nuit, correspondant au lever du Soleil. Entre ces deux jalons, les niveaux mesurés et leurs variations permettent de caractériser un grand nombre de facteurs (figure 4).

Une courbe lisse indiquera par exemple un ciel clair, tandis qu'une courbe en dents de scie sera représentative d'un ciel nuageux. Les effets des nuages dépendent par ailleurs de la présence ou non de sources lumineuses actives dans la zone d'étude. En l'absence d'éclairage, une couverture nuageuse aura tendance à masquer les astres et donc à assombrir le ciel. À l'inverse, dans une zone éclairée, les nuages accentueront la luminance sous l'effet d'une diffusion amplifiée de la lumière et d'une réflexion vers le sol des émissions lumineuses provenant de l'éclairage artificiel. Si les astronomes ont peu d'intérêt à étudier le ciel par conditions nuageuses, la question est en revanche beaucoup plus cruciale si l'on s'intéresse aux impacts de la pollution lumineuse sur les êtres vivants, et en particulier les animaux. L'effet amplificateur d'un couvert nuageux dans une zone éclairée est en effet susceptible de perturber très fortement les espèces.

Parmi les autres phénomènes observables, une chute brutale de la courbe, signe d'un assombrissement soudain, est généralement la conséquence

d'une extinction de l'éclairage autour de la zone de mesure (principalement l'extinction de l'éclairage public durant quelques heures en milieu de nuit, dans les communes qui ont mis en place ce type de pratique). De même, la présence de la Lune ou le passage de la Voie lactée au zénith sont des facteurs pouvant impacter de manière visible les mesures.

Chaque nuit étant singulière, aucune courbe n'est donc identique d'une nuit à l'autre. Des conditions d'observation *a priori* similaires peuvent en réalité déboucher sur des résultats très différents. Les nuages ont en effet des densités et des altitudes qui changent en permanence, et même par conditions de ciel clair, la présence plus ou moins grande d'humidité et d'aérosols dans l'atmosphère occasionne de fortes variations.

Pour correctement évaluer le niveau de pollution lumineuse auquel est exposé un site spécifique, mais également pour pouvoir comparer les niveaux de pollution lumineuse entre plusieurs sites, et ceci malgré les légères différences de calibration qui peuvent exister entre les appareils de mesure, DarkSkyLab a mis au point une méthode et un indicateur absolu de pollution lumineuse. Ils ont été présentés dans un article publié en octobre 2022 dans la revue *Scientific Reports* (Deverchère et al., 2022).

Le principe de cette démarche est de mesurer la luminance zénithale de manière continue pendant au moins six mois, afin de couvrir toutes les

conditions atmosphériques, puis d'analyser statistiquement la variabilité des mesures autour d'un niveau de référence dit de "ciel clair" pour en tirer un ratio de dispersion. Plus ce ratio est élevé, plus cela signifie que le site étudié connaît régulièrement des épisodes de pollution lumineuse aggravée par les conditions atmosphériques (en particulier la présence de nuages).

## Données de radiance acquises par satellite ou voie aérienne

Si les mesures réalisées au sol permettent d'étudier avec précision la luminance zénithale en un lieu précis, il est aussi possible de mener de telles campagnes d'acquisition de données sur de vastes territoires. Mais cela peut alors impliquer l'utilisation simultanée d'un grand nombre d'appareils de mesure, ce qui rend l'opération nettement plus coûteuse. Pour analyser la pollution lumineuse à large échelle, une autre source de données est donc utilisée depuis une trentaine d'années : les images satellite nocturnes.

En conditions de nuit, certains capteurs satellitaires sont sensibles au rayonnement lumineux émis depuis le sol. Les sources lumineuses visibles depuis l'espace sont caractérisées par une puissance lumineuse par unité de surface que l'on appelle "radiance". L'acquisition de ces données de radiance permet d'identifier où se trouvent les sources de lumière et de quantifier leurs émissions. Par définition, seules sont visibles depuis l'espace les sources d'éclairage actives lors du passage des satellites, qu'il s'agisse d'éclairage public ou d'éclairage privé.

Depuis une dizaine d'années, l'instrument VIIRS-DNB (*Visible Infrared Imaging Radiometer Suite - Day/Night Band*), embarqué à bord du satellite Suomi NPP de la NASA, représente la principale source de données de radiance acquises depuis l'espace. Il fournit quotidiennement et gratuitement des images nocturnes à une résolution spatiale de 500 mètres environ (figure 5). Ses passages ayant lieu généralement en milieu de nuit, on considère que les données acquises sont représentatives



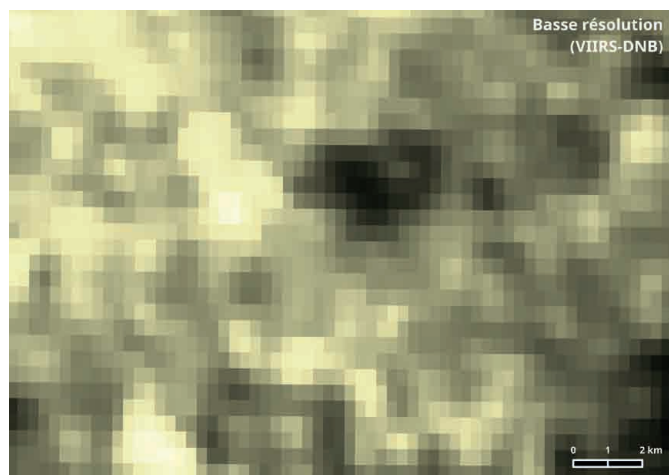


Figure 5 (à gauche) et figure 6 (à droite) : comparaison d'images satellite nocturnes à basse et très haute résolutions.

d'une situation de cœur de nuit, c'est-à-dire après extinction de tout ou partie de l'éclairage public dans les communes qui ont mis en place ce type de pratique.

Pour éviter les biais liés aux variations des conditions d'acquisition selon la zone photographiée ou la nuit prise en considération, *DarkSkyLab* s'appuie sur des composites mensuels et annuels des données VIIRS-DNB. Produits par l'*Earth Observation Group* (structure rattachée à la *Colorado School of Mines*), ils font office de référence internationale pour l'étude de la pollution lumineuse. Ils fournissent des données correspondant aux valeurs moyennes des radiances détectées au cours du mois ou de l'année considérée, en conditions de ciel clair (sans nuage). Les prétraitements effectués pour produire ces composites consistent notamment à supprimer les effets des lumières parasites, l'éclairage dû à la Lune, ou encore les sources d'éclairage éphémères (telles que les feux).

Ces images à faible résolution suffisent à l'étude de la pollution lumineuse diffuse à large échelle et leur disponibilité depuis dix ans s'avère particulièrement utile pour le suivi des évolutions temporelles. Elles sont en revanche inadaptées pour la réalisation d'analyses plus fines. C'est en particulier le cas en zone urbaine, lorsque l'enjeu est de localiser précisément les émissions lumineuses, rue par rue, voire point lumineux par point lumineux. Il est alors nécessaire de recourir à des images nocturnes à très haute résolution spatiale (environ un mètre), collectées par voie aérienne ou satellitaire.

Peu de satellites en produisent, et l'acquisition des données est payante et s'effectue à la demande. Le satellite Jilin-1, opéré par l'entreprise chinoise CG-Satellite, est pour l'instant considéré comme le canal d'acquisition le plus pertinent. En France, ses images sont distribuées et prétraitées par la société LaTeleScop, spécialisée en télédétection et valorisation des données d'observation de la Terre (figure 6). Les passages de Jilin-1 ont lieu généralement en soirée (entre 21 h et minuit en France métropolitaine), ce qui signifie que les données acquises sont plutôt représentatives d'une situation d'extrémité de nuit, c'est-à-dire avant éventuelles extinctions de l'éclairage public dans les communes concernées.

### Données d'inventaire de points lumineux

Même si les données satellite ont des avantages incontestables pour l'étude de la pollution lumineuse, elles ont aussi leurs limites. Les capteurs satellitaires peuvent, par exemple, être insuffisamment sensibles à la composante bleue de la lumière. Depuis quelques années, cette problématique devient de plus en plus critique en raison du développement des éclairages à base de LED, dont la lumière est généralement plus froide (couleur blanc-bleu) que celle produite par des lampes plus anciennes, telles que les modèles à sodium haute pression par exemple (couleur tirant vers l'orange). Dans certains cas, les données acquises par satellite peuvent donc sous-estimer la radiance réelle.

Par ailleurs, l'observation depuis l'espace ne permet pas toujours d'identifier les éventuelles variations d'éclairage au cours d'une même nuit. Comme évoqué plus haut, les données fournies par exemple par la NASA sont représentatives de la situation en cœur de nuit, lorsque certaines sources d'éclairage ont été éteintes. Il n'est donc pas possible d'utiliser ces informations pour étudier la pollution lumineuse telle qu'elle existe en soirée ou au petit matin, lorsque la quasi-totalité des éclairages est active et que les nuisances sont maximales, en particulier pour la biodiversité.

D'autre part, si les données satellite sont incontournables pour analyser la pollution lumineuse diffuse (niveau de luminosité de la voûte céleste), il est plus difficile de les utiliser, voire impossible avec des images à basse résolution, pour étudier la pollution lumineuse directe (exposition aux flux lumineux). Enfin, l'imagerie satellitaire permet de suivre des évolutions passées, mais elle n'est d'aucune utilité pour anticiper des évolutions futures, par exemple pour estimer les conséquences probables qu'une transformation d'un parc d'éclairage pourrait avoir en matière de nuisances lumineuses.

Pour toutes ces raisons, un troisième type de données s'avère déterminant pour l'étude de la pollution lumineuse : les inventaires de points d'éclairage. Il s'agit de bases de données ou de fichiers SIG qui renseignent les coordonnées géographiques des sources lumineuses et leurs principales caractéristiques techniques (figure 7). Connaître ces caractéristiques est



essentiel pour pouvoir étudier de manière fine la contribution de chaque point lumineux connu à la pollution lumineuse globale.

Quatre propriétés jouent un rôle particulièrement important :

- le type de lampe : *DarkSkyLab* utilise une nomenclature de onze types ; les lampes à LED remplacent aujourd'hui peu à peu les anciens types, parmi lesquels les lampes à sodium haute pression ont été les plus utilisées en France au cours des dernières décennies ;
- la puissance (exprimée en Watt) ;
- la température de couleur (exprimée en Kelvin) : les valeurs les moins élevées correspondent à une lumière chaude (orange) tandis que les valeurs les plus élevées correspondent à une lumière froide (blanc-bleu) ;
- l'*Upward Light Ratio* ou ULR (exprimée en %) : il s'agit du pourcentage du flux lumineux qui s'échappe au-dessus de l'horizontale.

À partir de ces données de points lumineux, il est possible notamment d'analyser la contribution spécifique d'un parc d'éclairage à la pollution lumineuse diffuse, ou bien de comparer des situations "avant/après" dans le cadre de projets de rénovation des installations ou de changement des pratiques (abaissement de puissance, extinction à certaines heures, etc.). Ces données sont aussi les seules qui permettent de réaliser avec précision des analyses de la pollution lumineuse directe. Les flux lumineux sont modélisés en 3D à partir des caractéristiques techniques connues des points lumineux, puis ils sont croisés avec un MNS pour prendre en compte les effets du relief, de la végétation ou des bâtiments sur leur diffusion et sur la visibilité directe des sources d'éclairage.

Mais les inventaires de points lumineux ont aussi leurs limites. En particulier, ils ne portent en général que sur une partie seulement des sources lumineuses d'un territoire. Les bases de données d'éclairage public, par exemple, ne comportent aucune information sur les sources d'éclairage privé, qui pourtant peuvent être à l'origine d'une part très importante des émissions lumineuses.

En définitive, c'est donc la combinaison de tous les types de données (mesures au sol, images satellites ou aériennes, et inventaires de points lumineux) qui rend possible une étude complète de la pollution lumineuse sur un territoire. Mais comment sont utilisées concrètement les données disponibles ? Quelles méthodes et quels outils sont mobilisés ?

## Modélisation et cartographie de la pollution lumineuse

L'un des principaux objectifs est de parvenir à cartographier la pollution lumineuse, ou une manifestation particulière de la pollution lumineuse. Il peut s'agir de produire des cartes de pollution lumineuse diffuse (brillance du ciel) ou des cartes de pollution lumineuse directe (visibilité des sources de lumière), de spatialiser la pollution lumineuse en cœur de nuit ou en extrémité de nuit, ou encore de représenter géographiquement la contribution d'un parc d'éclairage spécifique.

Pour parvenir à ces résultats, *DarkSkyLab* a développé une chaîne logicielle complète et un ensemble de méthodes destinées au traitement et à la modélisation des données. Un premier ensemble d'outils et de techniques a été développé pour travailler spécifiquement sur les inventaires de points lumineux. Le logiciel *Lampyre* permet ainsi d'analyser, harmoniser et consolider les données, qui souvent

sont fournies dans des formats différents d'un territoire ou d'une entreprise à l'autre. Le logiciel *Asio* sert, quant à lui, à la création de jeux de points lumineux virtuels lorsque les données réelles sont manquantes. La méthode repose notamment sur le croisement des données de radiance satellite avec des données de l'IGN (localisation du bâti et des routes) et de l'Insee (nombre d'habitants).

Le second ensemble de solutions et de méthodes développé par *DarkSkyLab* est destiné spécifiquement à la simulation et à la cartographie de la pollution lumineuse. Le logiciel *Strix*, par exemple, permet de spatialiser l'exposition à la pollution lumineuse directe : il modélise en 3D les flux d'éclairage à partir des données d'inventaire de points lumineux et d'un MNS (figure 8).

Le logiciel *Otus*, pour sa part, est un modélisateur de la pollution lumineuse diffuse capable de produire des cartes de la qualité du ciel nocturne (figure 9) à partir d'images satellite ou aériennes, d'inventaires de points lumineux ou de la taille des populations communales. En croisant ou en combinant ces différentes sources de données, il permet de réaliser de nombreux traitements :

- "rallumer" virtuellement des points lumineux éteints et mixer leurs émissions avec des données de radiance satellite afin de reconstituer la pollution lumineuse en conditions d'allumage maximal (extrémité de nuit) ;

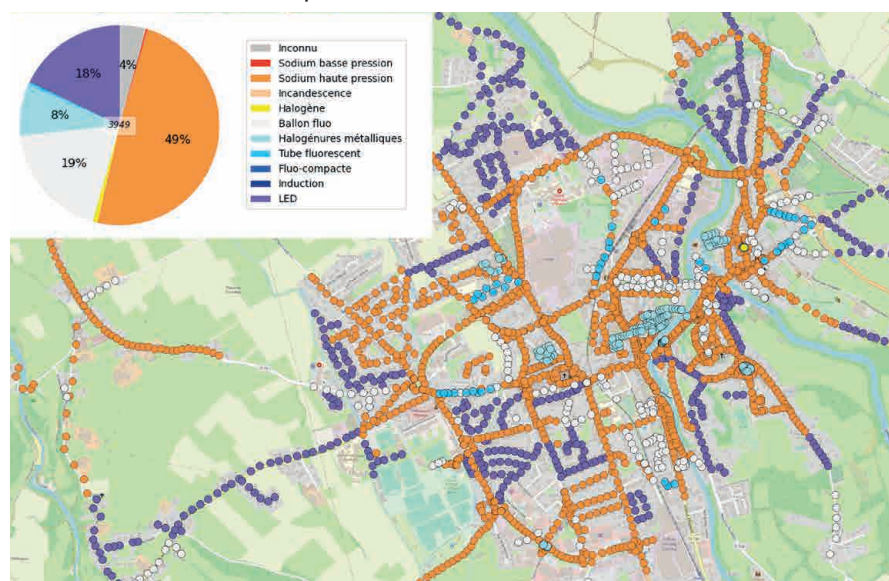


Figure 7. Localisation des points lumineux d'un inventaire selon le type de lampe.



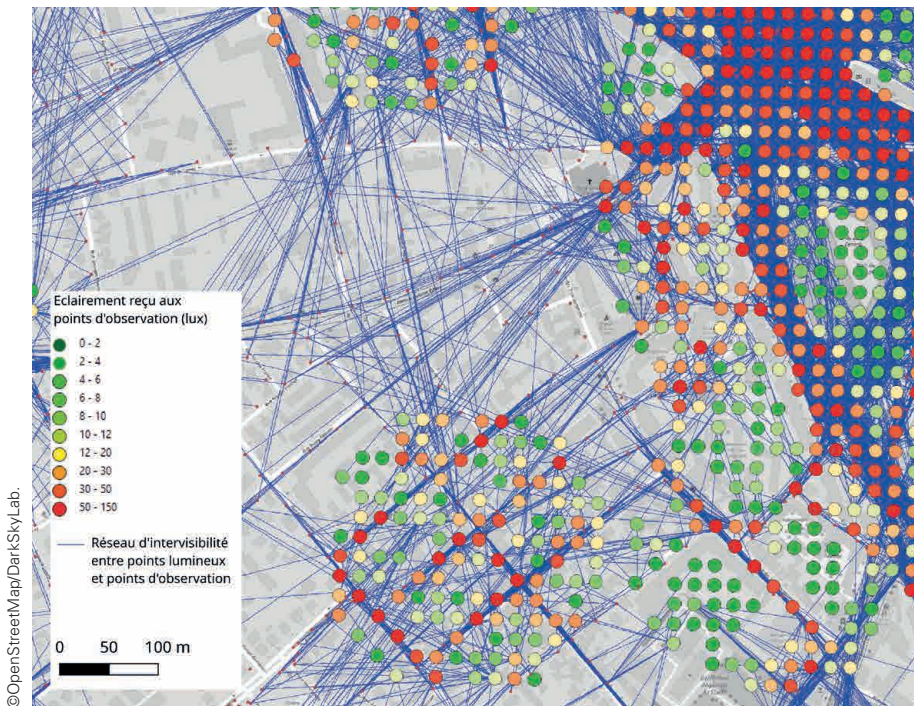


Figure 8. Exemple de carte de pollution lumineuse directe réalisée avec Strix.

- comparer des images satellite ou aériennes à haute ou très haute résolution spatiale avec des inventaires de points lumineux pour en tirer des estimations sur la contribution d'un parc d'éclairage spécifique ;
- comparer des données de radiance satellite avec des données de population pour identifier d'éventuelles extinctions d'éclairage ou, à l'inverse, des pratiques d'éclairage excessif ;
- tester des scénarios d'évolution de la pollution lumineuse, en modulant les données de radiance satellite, ou en faisant varier les caractéristiques techniques des points lumineux...

### Conclusion

Initialement portée par la communauté des astronomes, la problématique de la pollution lumineuse et de ses impacts tend progressivement à devenir un sujet central dans les politiques de protection de l'environnement au sens large. Dans un contexte de crise énergétique et climatique, la rénovation des parcs d'éclairage est désormais clairement identifiée comme un puissant levier de sobriété, permettant de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> en même temps que les montants des factures d'électricité. Tout aussi critique, mais encore

insuffisamment pris en compte, l'effondrement de la biodiversité impose également une diminution rapide et massive des impacts de la lumière artificielle sur les espèces. Pour préserver le ciel étoilé, tout là-haut, et protéger le monde des vivants, ici-bas, il y a décidément urgence à réparer la nuit. ●

### Références

Deverchère, P., Vauclair, S., Bosch, G., Moulerat, S. et Cornuau, J. (2022), "Towards an absolute light pollution indicator", *Scientific Reports*, 12, 17050.

Sánchez de Miguel A., Bennie J., Rosenfeld E., Dzurjak S. et Gaston K.J. (2022), "Environmental risks from artificial nighttime lighting widespread and increasing across Europe", *Science Advances*, volume 8.

Sordello R., Busson S., Cornuau J., Deverchère P. et al. (2022), "A plea for a worldwide development of dark infrastructure for biodiversity – Practical examples and ways to go forward", *Landscape and Urban Planning*, volume 219.

### Contacts

Christophe PLOTARD, TerrOiko/DarkSkyLab, christophe.plotard@terroiko.fr  
 Philippe DEVERCHÈRE, DarkSkyLab/ScotopicLabs, philippe@darkskylab.com  
 Sarah POTIN, La TeleScop/DarkSkyLab, sarah.potin@latelescop.fr  
 Sébastien VAUCLAIR, DarkSkyLab, sebastien@darkskylab.com

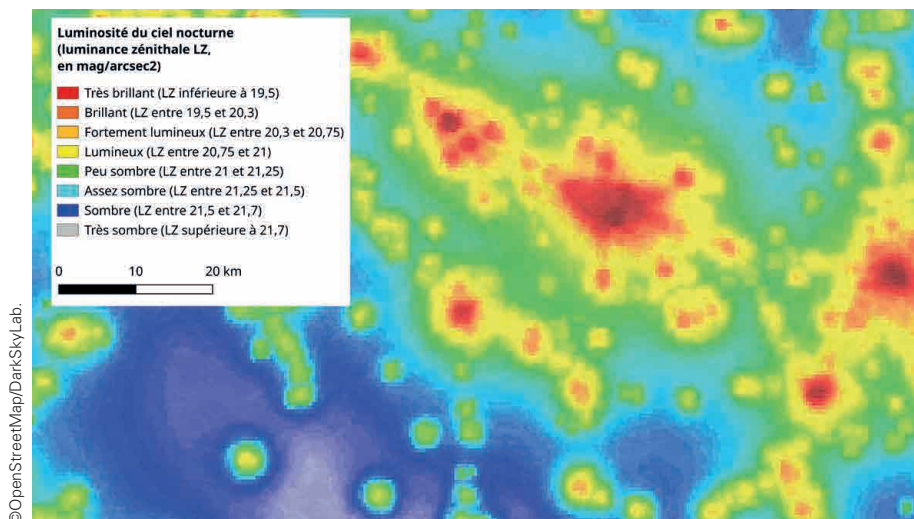


Figure 9. Exemple de carte de pollution lumineuse diffuse réalisée avec Otus.

### ABSTRACT

*The development of artificial light at night is the cause of light pollution with harmful effects on biodiversity, human health, energy consumption and astronomical observation. To analyse the different forms of this pollution, the French engineering consulting firm DarkSkyLab uses several types of data, such as ground measurements, satellite and aerial images, and lighting point inventories. This article presents the main aspects of these data, as well as various tools, methods and indicators designed to allow their processing, modelling and mapping.*