

**CONCOURS INTERNE ET DE 3^{ème} VOIE
DE TECHNICIEN TERRITORIAL**

**SESSION 2020
REPORTÉE À 2021**

ÉPREUVE DE RAPPORT TECHNIQUE

ÉPREUVE D'ADMISSIBILITÉ :

Elaboration d'un rapport technique rédigé à l'aide des éléments contenus dans un dossier portant sur la spécialité au titre de laquelle le candidat concourt.

Durée : 3 heures
Coefficient : 1

SPÉCIALITÉ : RÉSEAUX, VOIRIE, INFRASTRUCTURES

À LIRE ATTENTIVEMENT AVANT DE TRAITER LE SUJET :

- ♦ Vous ne devez faire apparaître aucun signe distinctif dans votre copie, ni votre nom ou un nom fictif, ni initiales, ni votre numéro de convocation, ni le nom de votre collectivité employeur, de la commune où vous résidez ou du lieu de la salle d'examen où vous composez, ni nom de collectivité fictif non indiqué dans le sujet, ni signature ou paraphe.
- ♦ Sauf consignes particulières figurant dans le sujet, vous devez impérativement utiliser une seule et même couleur non effaçable pour écrire et/ou souligner. Seule l'encre noire ou l'encre bleue est autorisée. L'utilisation de plus d'une couleur, d'une couleur non autorisée, d'un surligneur pourra être considérée comme un signe distinctif.
- ♦ Le non-respect des règles ci-dessus peut entraîner l'annulation de la copie par le jury.
- ♦ Les feuilles de brouillon ne seront en aucun cas prises en compte.

Ce sujet comprend 29 pages.

Il appartient au candidat de vérifier que le document comprend le nombre de pages indiqué.

S'il est incomplet, en avertir le surveillant.

Vous êtes technicien territorial chargé de la voirie pour la commune de Techniville, 80 000 habitants.

Soucieux de limiter la pollution lumineuse tout en assurant la sécurité des habitants, les élus souhaitent engager un travail de rénovation de l'éclairage public aujourd'hui trop énergivore et devenu vétuste.

Le directeur général des services techniques vous demande de rédiger à son attention, exclusivement à l'aide des documents joints, un rapport technique sur l'éclairage durable.

Liste des documents :

- Document 1 :** « Vers un parc plus intelligent » - *Techni.Cités N° 320* - février 2019 - 6 pages
- Document 2 :** « Fiches pratiques. Éclairage dans les collectivités » (extraits) - *Association française de l'éclairage* - édition 2019/2020 - 6 pages
- Document 3 :** « Conjuguer éclairage public et biodiversité : l'expérience lilloise » - *Actu Environnement* - 5 mars 2019 - 2 pages
- Document 4 :** « Trame noire : un sujet qui « monte » dans les territoires » (extraits) - *Sciences Eaux et Territoires* - Article hors-série n°45 - 2018 - 3 pages
- Document 5 :** « Éclairage intelligent » - *Citelum. Groupe EDF* - 2016 - 2 pages
- Document 6 :** « Construire une trame noire : un enjeu complexe » - *laGazette.fr* - 29 mars 2018 - 2 pages
- Document 7 :** « L'éclairage public et le mobilier urbain intelligents » (extraits) - *Smart Grids-CRE* - consulté le 11 décembre 2019 - 5 pages
- Document 8 :** « Les nouvelles plages horaires de l'arrêté 2018 » - *Ministère de la transition écologique et solidaire* - juin 2019 - 1 page

Documents reproduits avec l'autorisation du CFC

Certains documents peuvent comporter des renvois à des notes ou à des documents non fournis car non indispensables à la compréhension du sujet.

ÉCLAIRAGE PUBLIC

Vers un parc plus intelligent

Par Alexandra Delmolino

L'avènement des leds sur le marché de l'éclairage public permet aux collectivités de rénover leur parc avec des économies d'énergie substantielles. Mais cette nouvelle génération électronique favorise également le déploiement de solutions de pilotage intelligentes sur lesquelles il est tentant de greffer de nombreux objets. Avec l'émergence du « Smart Lighting », la mutualisation des réseaux d'éclairage public pour de nouveaux usages est ainsi en pleine réflexion sur les territoires qui expérimentent la rue servicielle de demain.



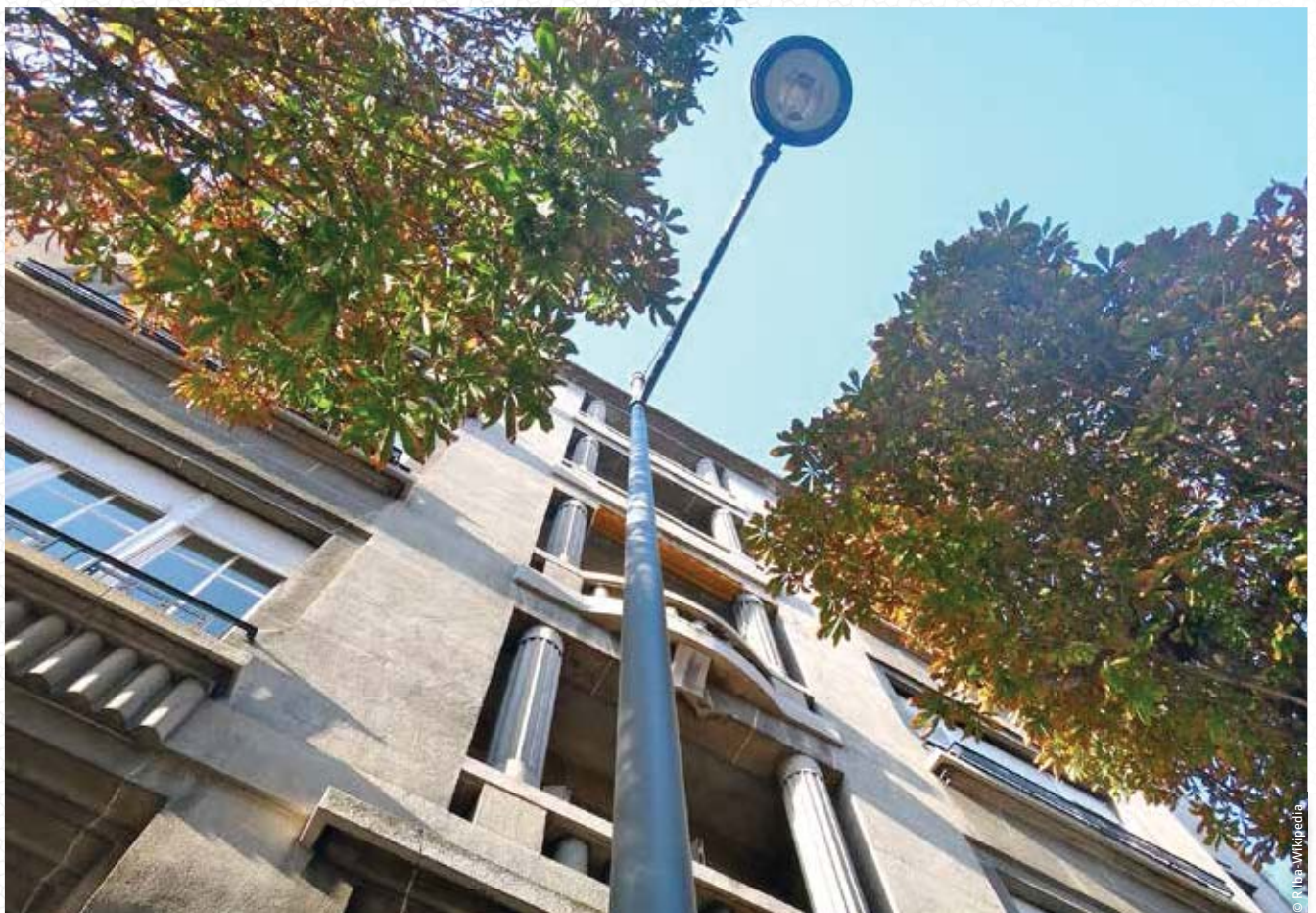
Éclairer plus juste



Mutualiser de nouveaux usages



Les enjeux d'un marché émergent



Vers un parc plus intelligent

1 Éclairer plus juste

Composé de plus de 10 millions de points lumineux, le parc français est vieillissant. Près de 40 % des luminaires ont dépassé les 25 ans dont encore un million de ballons « fluo » recensés en 2015. L'éclairage public absorbe ainsi plus de 40 % de la facture d'électricité d'une commune pour des durées de fonctionnement annuelles variant entre 3 100 et 4 100 heures. Dans ce contexte tiré par une réglementation en faveur de la performance énergétique, éclairer au plus juste est devenu le credo des services. Les collectivités ont commencé par équiper leurs armoires électriques d'horloges astronomiques pour commander automatiquement l'allumage et l'extinction des luminaires. On a également assisté dans les années 2010 à une vague d'extinction nocturne sur les territoires ruraux. Une pratique d'économies plutôt radicale à laquelle de nombreuses collectivités opposent un fonctionnement optimisé de leur parc d'éclairage. Et l'apparition, à la même époque, des premières leds fiables sur le marché a largement participé à ce mouvement.

Avec un coût aujourd'hui concurrentiel aux lampes à décharge, les leds ont réussi à s'imposer sur le renouvellement qui progresse à hauteur de 3 à 5 % par an. Elles équipent actuellement 10 % du parc et plus dans certaines métropoles, par exemple 20 % à Paris et 16 % à Toulouse. Les territoires ruraux ne sont pas en reste. De petites communes soutenues par les syndicats départementaux d'énergie affichent déjà aujourd'hui un parc en 100 % leds. « Le fait de passer en led peut permettre d'atteindre jusqu'à 60 % d'économies d'énergie. Beaucoup de collectivités s'arrêtent donc à cette étape. Le pilotage intelligent constitue une option supplémentaire d'économie qui sera développée progressivement », observe Aymar de Germay, président du syndicat départemental d'énergie du Cher et de la commission éclairage public à la Fédération nationale des collectivités concédantes et régies (FNCCR).

Cette nouvelle génération électronique amorce en effet une transition vers un éclairage intelligent grâce à son alimentation (driver). Contrairement aux lampes à décharge, la led s'allume et s'éteint instantanément, son intensité peut être gradée de 0 à 100 % et elle peut être préprogrammée en usine sur un abaissement de puissance.

L'éclairage led permet d'économiser 60 % de la facture d'électricité – dans un premier temps. Avec un pilotage intelligent, les gains sont encore plus importants.

D'où le développement d'une offre de « Smart Lighting », dans le sillage de la Smart City par les grands intégrateurs de solutions et les fabricants d'automatismes dédiés. On y trouve des solutions de pilotage centralisé, la télégestion à l'armoire ou au point lumineux, au potentiel valorisé par la réactivité des leds. La télégestion à l'armoire permet aux

L'ARRÊTÉ NUISANCES LUMINEUSES PUBLIÉ

L'arrêté relatif à la prévention, à la réduction et à la limitation des nuisances lumineuses publié le 27 décembre 2018 qui abroge l'arrêté du 25 janvier 2013 répond à un ultimatum du Conseil d'État lancé en mars 2018 suite à la saisie de plusieurs associations de protection de l'environnement. Il fixe des prescriptions techniques concernant la conception et le fonctionnement des installations d'éclairage extérieur (créneaux d'allumage et d'extinction, lumière au-dessus de l'horizontal, pourcentage du flux dirigé vers le sol, température de couleur, lumière intrusive). Ces mesures applicables progressivement entre 2020 et 2025 feront l'objet de contrôles de conformité. « Ce texte est un bon compromis. Il fixe un cadre pour le neuf et laisse un peu plus de latitude aux installations existantes », estime Philippe Hunault, directeur technique au Syndicat des entreprises de génie électrique et climatique (Serce).

Lire également p 56.





À gauche, l'agent met en place le système de télégestion dans le candélabre. À droite, il règle les paramètres de gestion au niveau de l'armoire de commande.

collectivités de suivre leurs consommations en temps réel sur un poste central, à l'échelle de certains quartiers ou sur la totalité de leur territoire, d'optimiser leurs abonnements et aussi, de contrôler les engagements contractuels de leurs opérateurs dans le cadre de contrats de performance énergétique. Niort s'est ainsi engagé en 2018 avec Engie Ineo sur un contrat de conception, réalisation, exploitation, maintenance (Crem) de cinq ans. Il vise 72 % d'économies d'énergie par le biais du renouvellement d'un tiers de son parc en led et via le déploiement d'une télégestion au point mise en œuvre dans son hypercentre. Pilotant les luminaires équipés de nœuds de communication, la supervision aux points lumineux permet de programmer des scénarios d'éclairage très fins (allumage, extinction, gradation) par secteur, par jours spéciaux voire sur chaque lampe, et d'en détecter les pannes. La pionnière française, Clermont-Ferrand, a installé une télégestion au point avec la solution Tegis de Lacroix Sogexi entre 2011 et 2013 sur les 16 000 points de son parc. Un investissement de 4,5 millions d'euros qui lui a déjà permis d'économiser 35 à 40 % sur sa facture d'électricité. Et l'intégration progressive de leds depuis trois ans n'a posé aucun problème au système évolutif qui peut gérer jusqu'à 35 000 points. « Nous en profitons pour tester une zone piétonne et cyclable équipée de vingt-cinq luminaires à leds avec détection de présence », précise Dominique Colinot, responsable du pôle éclairage public de Clermont Auvergne Métropole.

La détection de présence qui augmente automatiquement le niveau d'éclairage d'un candélabre lors du passage des usagers (piétons, voitures) fait partie des solutions tendances. Simple et souple, elle peut être utilisée en mode autonome ou communiquant au niveau local avec des options « train de lumière », voire supervisée. « Pour nous, c'est le choix le plus efficace en termes d'économies d'énergie. On arrive à gagner entre 50 et 70 % », estime Thierry Marsick, responsable de l'éclairage public de Lyon. La métropole qui l'a déjà testée en mode autonome sur des jardins publics ou des passerelles piétonnes l'expérimentera en 2019 sur les 10 000 points lumineux du quartier Montchat grâce à la solution en mode télégré de Citylone. De son côté, Toulouse a inspiré à la société Kawantech la conception du détecteur de piétons Kara. Aujourd'hui, 600 luminaires de la ville rose en sont équipés et 2 000 le seront d'ici à l'été 2020. Paris en a également installé rue Bourdelle, qui abrite le siège de son opérateur Evesa, en plus d'une supervision de pointe de son parc associant la plateforme Streetlight Vision à 18 000 boîtiers communicants. « La détection répond à des besoins spécifiques, dans des rues résidentielles à faible circulation. Elle ne concernera pas plus du tiers du parc d'une grande ville. Mais elle s'intègre dans une solution globale d'éclairage, limite les nuisances lumineuses et peut également en mode connecté être le support de nouveaux services », souligne Yves Le Hénaff, P-DG de Kawantech.

2

Mutualiser de nouveaux usages

Avec l'apparition des leds et des solutions communicantes, l'éclairage public entame aujourd'hui sa mue technologique. Et qui dit numérique, dit nouveaux objets connectés (capteurs, caméras, panneaux à message variable...) et nouveaux services associés. « Mais il est encore trop tôt pour savoir s'ils trouveront un modèle économique viable », estime Yves Raguin, chef du département autres infrastructures en réseau à la FNCCR. Pour Aymar de Germain, président du syndicat départemental d'énergie du Cher et de la commission éclairage public à la FNCCR, ces nouveaux services doivent s'accouder à une stratégie territoriale. « Il est essentiel d'avoir une politique de rénovation cohérente. En commençant par établir un diagnostic du patrimoine

lumineux existant pour optimiser les coûts et anticiper sur les usages futurs. Veut-on développer la mobilité, la sécurité sur son territoire, les citoyens ont-ils des attentes spécifiques ? Ces questions méritent d'être anticipées pour faire dès aujourd'hui les bons choix techniques sur l'éclairage ».

Les collectivités ont ainsi intérêt à envisager la mutualisation de l'éclairage intelligent pour de nouveaux services. Car une supervision au point lumineux reste un investissement coûteux si elle est appliquée uniquement à l'éclairage. En revanche, elle permet aux réseaux d'alimentation d'éclairage public d'être sous tension 24 h sur 24 et de pouvoir alimenter en électricité des capteurs fixés sur les mâts. On peut également l'utiliser comme réseau •••

Vers un parc plus intelligent



© SDEC ENERGIE

••• de communication d'objets connectés. C'est dans cette logique que Bouygues Énergies et Services a conçu sa solution de supervision Citybox qui permet d'équiper les mâts d'éclairage de deux prises, une électrique et une Ethernet. « Citybox a été élaboré il y a dix ans pour la rénovation du parc d'éclairage public mais déjà dans l'optique de mutualiser l'infrastructure sur de nouveaux services. Une collectivité peut tout à fait l'utiliser au départ pour une simple télégestion à l'armoire puis l'étendre au point et « plugger » progressivement les capteurs qui l'intéressent », décrit David Ratsimiala, responsable projet Smart City qui évoque aujourd'hui quelques premières références ciblées : wifi à Honfleur, vidéoprotection à Pont-l'Évêque, sonorisation à Longjumeau ou mise en lumière à Guérande. Idem chez Citeos, filiale de Vinci Énergies

Les mâts d'éclairage peuvent accueillir et alimenter des panneaux à message variable.

qui cite facilement la trame noire mise en œuvre par détection communicante à Condé-sur-l'Escaut (Nord) situé au cœur d'un parc naturel régional. Car les applications de la détection peuvent elles aussi dépasser l'éclairage. Angers a par exemple utilisé le capteur de présence communicant Sensycity de Lacroix City pour sécuriser une école. « Quand une voiture passe, le dispositif permet d'allumer l'éclairage, un panneau de signalisation et une borne lumineuse passage piéton. Bref de piloter l'environnement urbain », illustre Cédric Milandre, son directeur commercial.

Les grands intégrateurs comptent également insérer l'éclairage intelligent dans des approches globales de Smart City. Le contrat remporté en 2018 par Bouygues Énergies et Services à Dijon Métropole pour piloter les équipements publics préfigure cette tendance. Il s'appuiera sur la supervision au point Citybox de l'éclairage comme socle d'un réseau technique de communication. À Chartres, après une expérimentation de micro-district intelligent, Citeos est passé à l'échelle supérieure en 2017 dans le cadre d'un contrat de performance énergétique de huit ans. Il inclut notamment la télégestion de 1 000 points lumineux associée à l'installation de système GMAO CityApp et vise à terme à intégrer ces équipements dans une hypervision urbaine.

Exemple de mât d'éclairage public implanté dans les communes vendéennes.

Face à l'émergence de ces nouveaux services, les collectivités mènent de leur côté une approche plus pragmatique et empirique. Pour le syndicat départemental d'énergies du Calvados qui s'est attaché à faire remonter les besoins de ses communes adhérentes, l'objectif est l'alimentation électrique de caméras de vidéosurveillance, de panneaux à message variable et de sonorisation par son réseau d'éclairage. Après un test en 2018 sur vingt caméras et autant de panneaux, le syndicat a contractualisé sur cinq ans avec Bouygues Énergies et Services la mise en œuvre d'une télégestion au point équipant à terme 10 % de son parc de 90 000 points. « Cependant, nous ne pourrions pas généraliser cette solution compte tenu du coût de fonctionnement annuel élevé pour le paiement des communications



© SYDEV

et de l'accès au site de télésurveillance », souligne Wilfried Kopec, responsable de l'éclairage public.

En Vendée, le Sydev a expérimenté différents usages depuis quatre ans, de la supervision au point pour réaliser de l'effacement dans le cadre du projet Smart Grid Vendée et la recharge de véhicules électriques testée à La Roche-sur-Yon sur la borne Citycharge de Bouygues Énergies et Services. « Avec la supervision, on nous vend beaucoup de rêve alors que c'est un peu une usine à gaz. Il est donc important de tester. En tant qu'entité compétente sur les infrastructures de recharge de véhicules électriques, nous voulions aussi estimer le potentiel de l'éclairage pour alimenter les points de recharge. Ce travail mené avec Enedis et la CRE [Commission de régulation de l'énergie, ndlr] a abouti à la publication d'un guide de préconisations officiel. Cela ouvre des perspectives mais il y a des contraintes, notamment la mise en place d'un tarif de décompte », estime Alexandre Collonier, directeur adjoint infrastructures du SYDEV.

Les supports d'éclairage peuvent accueillir des points de concentration (ici, entre le réseau RF et la fibre optique).

À Nantes, Dany Joly doute encore pour sa part de la réalité d'une demande des citoyens ou des services techniques. La métropole a lancé en 2018 un test sur une rue de Nantes équipée de luminaires intelligents grâce à des capteurs de données environnementales (qualité de l'air, taux d'humidité, bruit. . .). « Nous avons prévu de diffuser ces données à nos collègues du service environnement et nous verrons s'ils les exploitent ». Paris, l'une des rares collectivités à avoir déployé son propre réseau de communication pour l'éclairage public, vise en priorité la mutualisation des usages. « Nous voulons en faire le réseau technique de la ville et qu'il serve aux directions qui interviennent sur l'espace public, à la voirie pour synchroniser les horloges des feux tricolores comme aux espaces verts pour le pilotage de l'arrosage », souligne Patrick Duguet, son chef de la section éclairage public. Paris comme Toulouse testeront dès 2019 l'application Smart parking sur les



capteurs Kara de Kawantech. « Nous sommes vraiment dans une démarche prospective qui vise à imaginer la rue servicielle de demain », juge le responsable parisien. Pour Joël Lavergne, son homologue toulousain, animateur du groupe métropoles de l'Association française de l'éclairage (AFE), plus les villes sont denses, plus les services additionnels sont importants. « Typiquement, les capteurs de détection de forme installés sur les appareils lumineux pourraient nous aider à développer des applications de mobilité intelligente comme à repérer des attroupements ou des usages anormaux. Le choix des nouveaux services à déployer est au final éminemment politique. Plus que de l'aménagement urbain, c'est l'aménagement sociétal de la ville qui est en jeu ».

3

Les enjeux d'un marché émergent

Si les collectivités avancent prudemment sur ces nouvelles pratiques, c'est également parce qu'elles sont confrontées à des offres difficilement décryptables, notamment sur les problématiques d'interopérabilité des technologies de communication mises en œuvre comme sur la maîtrise et la sécurité des données supervisées. Bref, le Smart Lighting se heurte aux mêmes écueils que les autres briques de la Smart City. « La pratique est vraiment émergente. Pour accompagner les collectivités, nous travaillons à l'élaboration d'une convention d'utilisation des candélabres utilisés pour la Smart City », précise Jean-Luc Sallaberry, chef du département numérique à la FNCCR.

Les technologies télécom utilisées par des objets connectés sur le réseau d'éclairage intelligent reposent globalement sur un réseau filaire (CPL, fibre optique, réseaux câblés) et/ou un réseau hertzien (LoRa, Sigfox, GSM/GPRS,

Wifi, mesh, 4G, futur 5G. . .). « Il y a cinq ans, le marché de la télégestion était presque exclusivement orienté sur le CPL. On voyait apparaître les premières offres de solutions radio innovantes (LoRa, Sigfox) sans qu'on ait assez de visibilité quant à leur pérennité. Aujourd'hui, ces solutions radios ont trouvé leur place avec l'offre croissante en systèmes IoT, carte SIM 3G embarquée dans le luminaire et bientôt 5G », estime Alain Guillaume, responsable du développement et marketing chez Citeos.

Une chose est sûre, plus il y aura de fabricants sur le marché et plus les solutions seront interopérables. N'importe quel capteur branché sur n'importe quel luminaire doit pouvoir communiquer dans l'infrastructure de communication en place. Des fabricants spécialisés en automatismes sur l'éclairage public comme Lacroix City, Citylone ou Kawantech considèrent l'interopérabilité de . . .

Vers un parc plus intelligent

Tous les usages de l'éclairage



- leurs solutions comme une nécessité commerciale. « Notre approche est de proposer la brique de communication la mieux adaptée aux besoins de la collectivité et de nous entourer de fabricants multiprotocoles et ouverts », confirme Nathalie Allegret, directeur marché villes et territoires connectés au sein d'Engie Ineo qui s'est doté de « Labs » implantés dans les territoires pour tester ces différents protocoles et accompagner les choix des villes.

Dans ce contexte, certaines collectivités comme Nantes Métropole imaginent des alternatives telles qu'utiliser le canal Linky pour remonter les données de compteur des armoires. « Notre objectif est de développer une innovation frugale et d'éviter un abonnement supplémentaire à un opérateur », explique Dany Joly. C'est également pour s'en affranchir que Paris a choisi d'opérer son réseau sur une

PARIS2CONNECT, LES LUMINAIRES COMME HUBS DE SERVICE

Opérateur d'infrastructures télécom, la « tower company » ATC France pilote le projet Paris2Connect autour de sept entreprises qui étudieront de nouveaux cas d'usage sur les luminaires de Paris Rive Gauche dans le cadre des quartiers d'innovation urbaine d'Urban Lab, soutenu par la ville de Paris. Sur 2019, ils testeront le guidage et l'information des déficients visuels (Audiospot), la signalétique intelligente (Aximum), le parking intelligent (Parking Map) et des capteurs de qualité de l'air (Signify). Suivront avec la RATP et Nokia des applications de 5G notamment pour la circulation des navettes autonomes. « Nous voulons créer une dynamique d'échanges sur l'intérêt d'une infrastructure numérique mutualisée pour la ville et voir si elle est créatrice de valeurs pour les collectivités et pour les entreprises », souligne Laurent Benet, directeur stratégie et innovation chez ATC France qui explorera par ce biais de nouveaux relais de croissance en milieu urbain.



La gestion d'un parc d'éclairage intelligent est un nouveau métier, de par les compétences nécessaires en électronique et en télécommunication.

fréquence libre, en 868 MHz, avec une technologie Wi-Sun Alliance d'Itron. « Chaque protocole et chaque support de communication ont leurs forces et leurs faiblesses. La réflexion doit être globale : coût, environnement, évolutivité, sécurité, interopérabilité, débit, latence, bidirectionnalité... En outre, il faut bien être conscient que la gestion d'un parc d'éclairage intelligent est un nouveau métier, de par les compétences nécessaires en électronique et en télécommunication », souligne encore Maxime Van der Ham, gérant du bureau d'études Architecture Réseaux Sarese. Lyon Métropole fait ainsi évoluer les métiers de son service en basculant un poste d'agent de l'éclairage conventionnel vers l'éclairage intelligent quand 1 500 points lumineux sont passés en led. ●

POUR EN SAVOIR +

Télécharger sur le site de l'AFE des fiches pour aider les collectivités à maîtriser leur éclairage public : www.afe-eclairage.fr

FICHES PRATIQUES

ÉCLAIRAGE DANS LES COLLECTIVITÉS

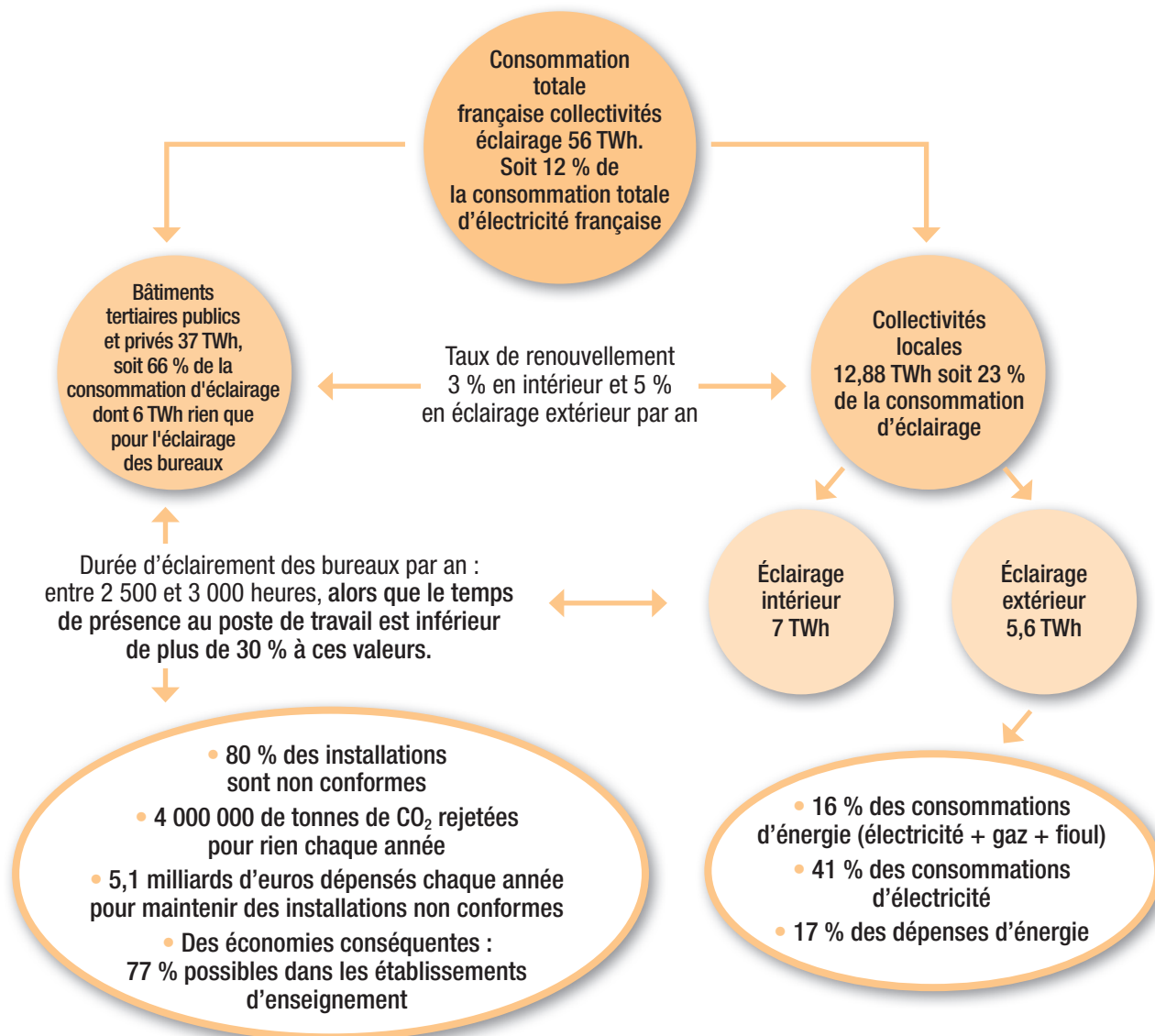
ÉDITION 2019 / 2020

ÉCLAIRAGE DANS LES COLLECTIVITÉS : LES CHIFFRES CLÉS

Les chiffres-clés

Légère accélération du taux de rénovation des installations d'éclairage extérieur : de 3 à 5 % depuis 2017.

Les réglementations françaises et européennes induiront un effort financier d'1 milliard d'euros pour l'éclairage public et les réseaux (voir la fiche sur les obligations d'investissement à venir en éclairage public).



À ce rythme, il faut 30 ans pour renouveler le parc !

Entre 2012 et 2018, près de 80 % des luminaires d'éclairage public auraient dû être remplacés du fait de la réglementation européenne¹ et des nouvelles performances électriques et photométriques des sources et luminaires.

Consommation annuelle de l'éclairage public	5,6 TWh soit 1 % de la production totale d'électricité
Nombre de points lumineux	10,5 millions dont près de 1 million de lampes à vapeur de mercure, recensées en 2015, année d'interdiction de leur mise sur le marché
Âge moyen du parc d'éclairage public	20 à 30 ans. 25 % des luminaires en service ont plus de 25 ans
Temps moyen de fonctionnement par an	3 600 heures en moyenne pour une commune de métropole soit - 12 % de la durée d'éclairage depuis 1990 Les durées peuvent varier en fonction de la collectivité et sont comprises entre 4 100 et 3 100 heures
Temps de fonctionnement en heures creuses	86 % (2 752 heures). Alimentées en énergie nucléaire, sans production de CO ₂
Temps de fonctionnement en heures pleines et heures de pointe	14 % (448 heures) dont 50 % alimentées en énergie thermique avec CO ₂
Puissance en pointe demandée par l'éclairage public urbain à plein régime	1,32 GW, soit 1,26 % de la plus haute pointe EDF (février 2012)
Prix moyen	14 cts € TTC / kWh (7,7 cts € en 2005)
Production totale de CO ₂ par an	L'éclairage public seul produit 85 000 tonnes de CO ₂ , soit 800 fois moins que le parc automobile des véhicules de tourisme français
Répartition kilométrique linéaire, éclairée par l'éclairage public (voies et abords) sur l'ensemble du territoire	33 pts lumineux / km de voie éclairée en fonction de la nature des voies éclairées (de 22 à 46)
Potentiel global d'économies d'énergie	Entre 50 et 75 % (sources LED, variations de puissance, détection précise)

L'éclairage et les Français

1 Français sur 5 estime que sa rue n'est pas assez éclairée².

Les points d'amélioration de l'éclairage public cités sont : la consommation d'énergie trop importante (45 %) suivie des dépenses publiques jugées excessives (34 %).

Les Français continuent de penser, à 73 %, qu'il est possible d'allier environnement, baisse des dépenses et éclairage. « L'amélioration de l'efficacité énergétique des luminaires constitue la solution privilégiée par toutes les catégories de répondants ».

Si 87 % des Français se disent favorables à l'extinction de nuit des bureaux inoccupés, il n'en va pas de même pour la rupture du service public la nuit : 90 % des Français déclarent que l'éclairage public est un « enjeu central de sécurité ».

87 % des Français pensent que l'éclairage est un facteur de sécurité la nuit sur les routes départementales et communales³. Enfin, plus d'1 Français sur 4 (28 %) a déjà vécu une situation particulièrement dangereuse la nuit en raison d'un problème de visibilité⁴.

Un potentiel économique et environnemental conséquent :

Le parc français est vieillissant (25 à 30 % des luminaires en service ont plus de 25 ans dont près de 1 million de « ballons » fluos en 2015) et présente donc un potentiel d'économies conséquent (entre 40 et 70 % d'économies d'énergie seraient réalisables). Plus une installation est vétuste, plus elle est source de nuisances et pollution lumineuse (30 à 40 % d'énergie serait d'ailleurs perdue de ce fait). À titre d'illustration, en région PACA : entre 180 et 231 GWh d'économies d'énergie seraient réalisables en remplaçant ces installations vétustes, l'équivalent de 7 270 lampes SHP 100 W directement orientées vers le ciel en matière de pollution lumineuse⁵.

Ancienneté de l'éclairage public	Puissance unitaire moyenne	Proportion du flux directement dirigé vers le ciel	
		Luminaires fonctionnels	Luminaires d'ambiance
40 ans	250 W	15 %	50 %
20 ans	150 W	5 à 10 %	30 %
Aujourd'hui	40 à 80 W	0 à 3 %	0 à 15 %
2020/2021	40 à 70 W	< 1 %	< 4 %

Note : les luminaires LED proposent aujourd'hui un ULOR = 0, en éclairage fonctionnel, comme pour les luminaires d'ambiance.

Nous vous recommandons de lire en complément les fiches AFE :

- Fiche 12 : Éclairage public : comparatif des solutions pour réaliser des économies
- Fiche 15 : Solutions pour la réduction des nuisances lumineuses et la protection de la biodiversité (2/2)

¹ Source : *Projet européen Streetlight - EPC : La France compte 10 millions de points lumineux en éclairage extérieur pour une consommation de 5,6 TWh.*

² Étude HEC - janvier 2014 - Syndicat de l'éclairage

³ Enquête Harris Interactive pour SPIE - mars 2014

⁴ Enquête « Les Français, la nuit et les dangers de la route » - OpinionWay 2016

⁵ Données Agence Locale de l'Énergie et du Climat - Métropole Marseillaise - 2016

Pour des informations plus détaillées, n'hésitez pas à prendre contact avec l'AFE.

Toutes les coordonnées de l'Association, à Paris et en province, sont disponibles sur notre site Internet.

Association française de l'éclairage - 17, rue de l'Amiral Hamelin - 75116 Paris - www.afe-eclairage.fr - afe@afe-eclairage.fr



POLLUTION LUMINEUSE ET BIODIVERSITÉ : DES ENJEUX SCIENTIFIQUES À LA TRAME NOIRE (1/2)

Repères

Une étude menée par la Ville de Paris (2018) souligne que l'éclairage privé représente 58 % des lumières excessives émises la nuit sur son territoire contre 35 % par le domaine public et 7 % par les véhicules. Les résultats d'une étude menée en 2017 par le groupe AFE Métropoles montrent que 62 % des métropoles ont élaboré une trame sombre ou sont en train de travailler sur le sujet. 50 % ont déjà un schéma directeur d'aménagement lumière (SDAL) ou un schéma de cohérence d'aménagement lumière (SCAL).

Cette fiche a été rédigée avec le Museum national d'Histoire naturelle (UMS Patrimoine naturel AFB-CNRS-MNHN) en s'appuyant sur ses travaux (cf. Références). Ce document est une synthèse qui, par ses contraintes de forme, ne se veut pas exhaustive. Cette fiche, complémentaire de la fiche AFE « Solutions pour la réduction des nuisances lumineuses et la protection de la biodiversité », a pour but de vous aider à établir un projet de réduction de la pollution lumineuse. Vous y trouverez un rappel des effets connus de la lumière artificielle sur la biodiversité par catégorie puis des conseils méthodologiques pour prendre en compte ces impacts dans les trames.

Depuis les années 2000, la recherche concernant les effets de la lumière artificielle nocturne sur la biodiversité s'est considérablement développée. De nouveaux groupes biologiques sont étudiés (flore, chauves-souris...) et les impacts sont désormais analysés à l'échelle des communautés écologiques, des relations entre espèces, du paysage, des services écosystémiques. Aujourd'hui, bien que des connaissances manquent encore, le corpus scientifique est consistant et permet de préconiser des actions concrètes et efficaces pour réduire la pollution lumineuse, depuis la gestion de la lumière artificielle jusqu'à sa prise en compte à des niveaux plus vastes comme celui des réseaux écologiques.

Identifier les sources de pollution lumineuse

Les sources de pollution lumineuse sont multiples. Une étude menée en 2018 par la Ville de Paris souligne que l'éclairage privé représente 58 % des lumières excessives émises la nuit sur son territoire contre 35 % par le domaine public et 7 % par les véhicules.

Sur le domaine public, 52 % des points chauds sont émis par l'éclairage public (majoritairement par les installations les plus anciennes), le reste provenant du mobilier urbain, des terrasses de café... Plusieurs postes d'émissions lumineuses sont ainsi à prendre en compte en matière de

pollution lumineuse : l'éclairage public, l'éclairage résidentiel et privé (parkings...), l'éclairage événementiel, les enseignes lumineuses...

À noter que deux textes réglementaires concernant la pollution lumineuse ont été mis en consultation publique jusqu'à mi-novembre 2018. Les premières obligations devraient entrer en vigueur en 2020, avec des impacts forts pour les collectivités (investissements et ingénierie), s'ajoutant à celles déjà existantes.

Effets de la lumière artificielle sur la biodiversité

La lumière artificielle la nuit a des conséquences sur tous les groupes biologiques, flore et faune (rappel : environ 30 % des vertébrés et 60 % des invertébrés vivent partiellement ou totalement la nuit), et sur tous les milieux écologiques (terrestres, d'eau douce, marins).

Faune

Deux grands mécanismes sont identifiés :

- certaines espèces (oiseaux marins ou en migration, jeunes tortues marines...) se dirigent grâce à la lumière naturelle de la nuit (ciel étoilé, réverbération de la mer...). Elles sont donc désorientées et leurrées par les éclairages artificiels, ce qui peut aller jusqu'à leur mort. Par exemple, une route éclairée piège les insectes et vide les milieux naturels adjacents.
- certaines espèces sont repoussées par la lumière (la plupart des chauves-souris, les rongeurs...), fuyant l'éblouissement ou assimilant la mise en lumière comme un facteur de danger face à la prédation par d'autres animaux (phénomène déjà constaté par rapport à la Lune). Par exemple, une route éclairée constituera une barrière imperméable aux amphibiens en migration.

Au final, la lumière artificielle perturbe les déplacements de la faune et fragmente les habitats. Elle peut agir de manière :

- « directe » : risques d'éblouissement voire de lésions oculaires,
- « précise » : chaque point lumineux est une cible d'attraction ou de répulsion,
- « ambiante » ou « projetée » : l'éclairage du sol et des feuillages est interprété par de nombreuses espèces comme un risque accru de prédation et entraîne une réaction d'évitement des zones éclairées. La qualité des habitats nocturnes est ainsi dégradée,
- « diffuse » : l'association de la lumière avec celles de l'atmosphère forme un halo néfaste aux espèces se guidant avec le ciel étoilé.

Il est important de prendre en compte l'ensemble de ces manifestations pour adopter une démarche complète. À ce titre, la réduction du halo atmosphérique est une première étape nécessaire mais il convient de la compléter en prenant en compte les effets au sol.

Flore

Pour la flore, on connaît des effets :

- directs : la lumière artificielle affecte le rythme biologique des végétaux (à l'instar des animaux). Par exemple, des arbres en ville ouvrent leurs bourgeons plus précocement.
- indirects : les impacts de l'éclairage artificiel sur les espèces pollinisatrices, en particulier les insectes nocturnes, perturbent la reproduction, diminuant ainsi les services écosystémiques.

Trois axes d'interventions concrets pour gérer

la lumière artificielle

Rappel : il n'existe, à ce jour, aucune méthodologie de réduction de la pollution lumineuse permettant de concilier besoins et sécurité des usagers tout en protégeant à 100 % la biodiversité. Il est toutefois possible d'agir sur trois axes pour réduire les effets de l'éclairage nocturne sur la biodiversité.

1- Sur les points lumineux eux-mêmes : en premier lieu, il est préconisé de diriger les éclairages vers le sol pour réduire la diffusion de la lumière vers le ciel. Néanmoins, l'éclairage impacte aussi la biodiversité évoluant sur terre ou dans l'eau (reptiles, mammifères, poissons...). D'autres caractéristiques des points lumineux sont donc importantes, comme la hauteur des mâts. Enfin, le choix des sources lumineuses est déterminant, de par le spectre lumineux qui leur est associé. À ce sujet, la littérature scientifique est hétérogène car chaque espèce possède sa sensibilité à telle(s) ou telle(s) plage(s) de longueur d'onde. A minima, il est préconisé de limiter au maximum la plage du spectre lumineux émis par les lampes pour impacter le moins d'espèces possible. Par ailleurs, il est démontré que les lumières situées dans les bleus et les ultraviolets ont un impact plus fort sur les insectes, dont le rôle est fondamental pour la chaîne alimentaire et le fonctionnement écologique global.

2- Sur l'organisation spatiale des points lumineux : certains espaces recouvrent des enjeux de biodiversité particulièrement importants comme par exemple les cours d'eau et leurs abords, riches en biodiversité aquatique et amphibie. Certains sites rupestres ou bâtis sont aussi recherchés par les animaux nocturnes (ex : combles, clochers, ponts, falaises...) et doivent faire l'objet d'une vigilance particulière. Enfin, le dimensionnement de l'éclairage doit prendre en compte les revêtements du sol, qui renvoient plus ou moins de lumière vers le ciel en fonction de leurs caractéristiques.

Voir également la norme expérimentale NF XP X90-013 et le Guide AFE « Éclairage public facteur d'utilisation et utilance ».

3- Sur la planification temporelle de l'éclairage : il est préconisé de réduire autant que possible la durée d'éclairage (ce qui implique une étude sur les besoins humains). À cet effet, il est possible de recourir à des détecteurs de présence et des minuteries. Une extinction de l'éclairage en cœur de nuit, qu'elle soit totale ou partielle, peut aussi être réalisée, mais, pour avoir un effet significatif sur la biodiversité, il est nécessaire que l'extinction commence suffisamment tôt dans la nuit (avant 23 h 00).

Au final, une gestion différenciée de l'éclairage devrait être mise en place pour concilier au mieux les enjeux de biodiversité et les besoins humains. Un diagnostic de la biodiversité présente à l'année et de façon périodique (saisons et migrations par exemple) doit être réalisé en amont.

Trame noire : comment prendre en compte

la pollution lumineuse à l'échelle des réseaux écologiques ?

La Trame verte et bleue (TVB) est une politique publique destinée à lutter contre la fragmentation des habitats. Elle vise à identifier un réseau

écologique, c'est-à-dire un ensemble de milieux naturels préservés et connectés entre eux, à différentes échelles. Plus précisément, la TVB est formée de continuités écologiques, composées de réservoirs de biodiversité et de corridors écologiques. Les réservoirs sont les espaces les plus préservés et les corridors servent de liens entre eux. Ce maillage permet d'améliorer la perméabilité du paysage et garantit ainsi la viabilité des populations animales et végétales.

Sur ce modèle, et au regard de la disparition et de la fragmentation des habitats naturels provoquée par la lumière artificielle, il est préconisé de maintenir et restaurer des trames noires, c'est-à-dire des réseaux de réservoirs et de corridors caractérisés par leur obscurité.

En pratique, pour identifier la trame noire, il existe deux grandes possibilités :

- les espaces caractérisés par la plus forte obscurité peuvent être déduits a posteriori à partir de la TVB (approche déductive),
- une démarche ad-hoc peut être effectuée pour intégrer en amont la pollution lumineuse dans l'identification des continuités écologiques (approche intégrative).

Enfin, dans une optique opérationnelle, il est aussi possible d'identifier les secteurs où l'éclairage nocturne crée des obstacles à la TVB (« zones de conflits »).

En France, plusieurs expérimentations ont déjà été menées et peuvent servir de retours d'expérience pour de futures démarches (ex : identification de secteurs à enjeux sur le Parc naturel régional des Causses du Quercy, « Trame sombre » sur le Parc national des Pyrénées (Dark Sky Lab), « Trame noire » sur la Métropole de Lille (Biotope) ...).

Références :

- Sordello R., Jupille O., Vauclair S., Salmon-Legagneur L., Deutsch E., Faure B., 2018, Trame noire : un sujet qui « monte » dans les territoires, Revue Science Eaux & Territoires, Hors-série, 8p., <http://www.set-revue.fr/trame-noire-un-sujet-qui-monte-dans-les-territoires>
- Sordello R., 2018, Comment gérer la lumière artificielle dans les continuités écologiques ?, Revue Science Eaux & Territoires, 25:86-89, <http://www.set-revue.fr/focus-comment-gerer-la-lumiere-artificielle-dans-les-continuites-ecologiques>
- Sordello R., Amsallem J., Azam C., Bas Y., Billon L., Busson S., Challeat S., Kerbirou C., Le Viol I., Nguyen Duy - Bardakji B., Vauclair S., Verny P. (2018). Réflexion Préliminaire à la définition d'indicateurs nationaux sur la pollution lumineuse. UMS PatriNat, Cerema, CESCO, DarkSkyLab, IRD, Irstea. 47 pages.
- Sordello R. (2017). Pollution lumineuse : longueurs d'ondes impactantes pour la biodiversité. Exploitation de la synthèse bibliographique de Musters et al. (2009). UMS Patrimoine naturel AFB-CNRS-MNHN. 18 pages.
- Sordello R. (2017). Les conséquences de la lumière artificielle nocturne sur les déplacements de la faune et la fragmentation des habitats : une revue. Bulletin de la Société des naturalistes luxembourgeois. Vol. 119, pp. 39-54.
- Sordello R. (2017). Pistes méthodologiques pour prendre en compte la pollution lumineuse dans les réseaux écologiques. Vertigo. Vol. 17, n°2, Nov. 2017.
- Sordello R. (2017). Pollution lumineuse et trame verte et bleue : vers une trame noire en France ?. Territoires en mouvement Revue de géographie et aménagement. Nov. 2017.
- Guide AFE (2006). Les nuisances dues à la lumière.

Pour aller plus loin :

Formation CPPE « Maintenance durable des réseaux d'éclairage extérieur »

Sites Internet à consulter :

- www.afe-eclairage.fr
- www.biodiversitweb.fr
- www.patrinat.fr
- www.nuitfrance.fr

Pour des informations plus détaillées, n'hésitez pas à prendre contact avec l'AFE.

Toutes les coordonnées de l'Association, à Paris et en province, sont disponibles sur notre site Internet.

Association française de l'éclairage - 17, rue de l'Amiral Hamelin - 75116 Paris - www.afe-eclairage.fr - afe@afe-eclairage.fr



SOLUTIONS POUR LA RÉDUCTION DES NUISANCES LUMINEUSES ET LA PROTECTION DE LA BIODIVERSITÉ (2/2)

Il n'existe, à ce jour, aucune méthodologie de réduction des nuisances lumineuses permettant de concilier besoins et sécurité des usagers tout en protégeant à 100 % la biodiversité. Si 30 % des vertébrés et 60 % des invertébrés vivent partiellement ou totalement la nuit, le pic d'activité de la plupart des espèces coïncide avec le pic de demande en éclairage (premières heures de la nuit et à l'aube). Cette majorité d'espèces ne bénéficie donc pas des mesures d'extinction nocturne¹. D'autres solutions plus efficaces doivent donc être envisagées afin de concilier au mieux les besoins humains et le respect des besoins de la biodiversité. Une mesure qui passera inéluctablement, à plus ou moins long terme, par la rénovation des installations du parc français, vieillissant et encore souvent inadapté à la lutte contre les nuisances lumineuses (40 % ont plus de 25 ans). Voir l'exemple des sources de points chauds pour la Ville de Paris dans la fiche suivante.

Si le nombre de points lumineux a augmenté depuis les années 1990, ce qui coïncide avec l'urbanisation de la France (de 7,2 millions en 1990 à près de 10 millions aujourd'hui)², la durée d'éclairage a paradoxalement suivi une courbe inverse sur la même période : de 4 300 heures en 1990 à 3 100 heures en moyenne pour une commune de métropole en 2015. Une tendance largement due à l'évolution des outils de gestion de l'éclairage.

Quelles obligations légales pour les élus ?

En matière d'éclairage public, la législation française fixe des obligations de résultats (limitation et réduction des nuisances lumineuses) mais pas de moyens.

À noter que deux textes réglementaires concernant la pollution lumineuse ont été mis en consultation publique jusqu'à mi-novembre 2018. Les premières obligations devraient entrer en vigueur en 2020, avec des impacts forts pour les collectivités (investissements et ingénierie), s'ajoutant à celles déjà existantes.

Voir également la fiche AFE :

- Fiche 8 : Normes et réglementation en éclairage public : les essentielles

Voir les sources des nuisances lumineuses

La nuisance lumineuse la plus critiquée est celle du halo visible dans le ciel nocturne urbain. Elle est due principalement à la réflexion vers le ciel des lumières directes et indirectes perçues par les surfaces éclairées publiques et privées. Halo pour lequel la lumière n'est qu'un révélateur des pollutions naturelles ou artificielles de l'atmosphère, sans lesquelles la lumière ne serait pas visible. (Attention : cette notion de nuisances lumineuses est une description de la perception de l'œil humain, également appelée luminescence nocturne naturelle et artificielle).

L'éclairage public focalise l'attention dans la lutte contre les nuisances lumineuses, mais il est loin d'en être le seul responsable. Sont généralement exclus de la lutte contre les nuisances lumineuses : les parkings, les sites privés et publics (industriels, logistiques...), les terrains de sport... Les nuisances lumineuses trouvent leur explication, dans la majorité des cas, dans les installations de luminaires pour lesquels le flux lumineux perdu vers le haut et vers le bas n'est pas maîtrisé ou qui n'ont pas fait l'objet d'un projet d'éclairage sérieux.

Les Français et les nuisances lumineuses

84 % des français se disent peu ou pas exposés aux nuisances lumineuses selon une enquête TNS Sofres menée en 2012.

Les outils de mesures des nuisances lumineuses

Il n'est pas possible de mesurer les nuisances lumineuses via des données collectées depuis le ciel (ou l'espace dans le cas des données satellites). L'AFE a d'ailleurs rédigé un communiqué de presse commun avec le Ministère (ex Certu, aujourd'hui CEREMA) afin d'alerter les collectivités sur l'utilisation de ces images comme outil de diagnostic des performances photométriques.

Seuls les relevés au sol et les mesures en laboratoire peuvent fournir un indicateur de référence complet des nuisances lumineuses, prenant en compte la lumière perçue par les Hommes et la biodiversité.

Les nuisances lumineuses ne s'appliquent pas seulement aux émissions vers le ciel. L'AFE souligne dans son guide sur les nuisances lumineuses que nombre des actions recommandées pour limiter les flux lumineux émis vers le ciel négligent les flux réfléchis par les surfaces éclairées, lesquels représentent souvent la partie la plus importante du flux total dirigé vers le ciel. Il faut également noter que plus le parc d'éclairage est ancien, plus il est à l'origine d'émissions vers le ciel. Voir le cas pratique de la Ville de Paris au verso.

¹ FRAPNA - Salon de l'éclairage public du SEDI - Juin 2015 / Cdc Biodiversité, Caisse des Dépôts et des Consignations - juillet 2015

² ADEME - 2015

Peuvent être utilisés, en tant qu'outils d'aide à la décision, en sus de la connaissance précise des besoins des usagers :

- Le diagnostic du parc du territoire (qui inclut entre autres une étude de la photométrie), plus complet que l'état des lieux.
- La norme expérimentale XP X90-013.
- La connaissance de la biodiversité et de ses cycles (saisons et migration par exemple) présente sur le territoire.
- La mise en place d'indicateurs spécifiques (voir le cas de la ville de Paris ci-dessous).

Quelles solutions pour les communes pour lutter contre les nuisances lumineuses ?

Selon les données du groupe AFE Métropoles, aujourd'hui, 70 % des métropoles prennent en compte le volet biodiversité dans leurs politiques d'éclairage et la durée moyenne de fonctionnement de l'éclairage public a diminué de 24 % depuis 1990.

Elles ont généralisé le recours à des températures de couleur inférieures à 3 000 K, la réduction du flux lumineux en heures creuses, l'installation de luminaires n'émettant pas de lumière directe vers le ciel (ULOR 0 %)...

Plusieurs actions peuvent être menées pour réduire les nuisances lumineuses :

• Réflexion sur l'existant et les besoins

- L'analyse de l'existant et sa pertinence pour répondre aux besoins. Nombre de points lumineux (implantation, espacement...), caractéristiques des luminaires (vétusté, systèmes optiques, hauteur, inclinaison). Réflexion autour des zones à éclairer et de la durée d'éclairage pour n'éclairer que là et quand c'est nécessaire (parcs, jardins...).

- Connaissance de la faune et de la flore sur le territoire afin de définir avec justesse les enjeux et les actions qui en découlent.

- Création de corridors pour le déplacement de la faune (Trames, voir la fiche 15) qui visent à réduire le phénomène de fragmentation des habitats naturels et à diminuer les contraintes de déplacement des espèces. Il est donc indispensable que l'éclairage extérieur soit adapté à ces trames, en envisageant une extinction partielle ou temporaire en fonction de la présence des usagers.

- La gestion de la puissance électrique installée ainsi que de l'intensité lumineuse. Variation de l'intensité lumineuse la nuit dans les zones qui le permettent, détection de présence, éclairage à la demande, extinction temporaire...

• Agir par le matériel installé

- L'utilisation de systèmes d'éclairage plus adaptés et moins obsolètes. Du simple changement de lampe au changement de luminaire, voire de support, pour réduire les déperditions lumineuses et n'éclairer que là où c'est nécessaire, sans oublier l'adaptation des températures de couleur des sources utilisées, lorsque cela est possible. Le choix d'un luminaire avec un ULOR < 3 % (les luminaires les plus performants proposent aujourd'hui un ULOR à 0 %) ainsi que la prise en compte du type de revêtement doivent donc être intégrés dans le choix de l'installation (qualité de l'optique, orientation du luminaire).

Pour aller plus loin :

Formation CFPE « Maintenance durable des réseaux d'éclairage extérieur »

Pour des informations plus détaillées, n'hésitez pas à prendre contact avec l'AFE.

Toutes les coordonnées de l'Association, à Paris et en province, sont disponibles sur notre site Internet.

Association française de l'éclairage - 17, rue de l'Amiral Hamelin - 75116 Paris - www.afe-eclairage.fr - afe@afe-eclairage.fr

Ancienneté de l'éclairage public	Puissance unitaire moyenne	Proportion du flux directement dirigé vers le ciel	
		Luminaires fonctionnels	Luminaires d'ambiance
40 ans	250 W	15 %	50 %
20 ans	150 W	5 à 10 %	30 %
Aujourd'hui	40 à 80 W	0 à 3 %	0 à 15 %

Note : les luminaires LED proposent aujourd'hui un ULOR = 0, en éclairage fonctionnel.

- La sélection des lampes en fonction de leurs longueurs d'ondes dans les zones sensibles (voir la fiche 15)
- Une efficacité lumineuse du luminaire $\geq 100 \text{ lm/W}^{-1}$
- Le cycle de vie des produits, encore peu développé et utilisant des méthodes de calcul et des périmètres qui diffèrent selon le producteur, il est conseillé de tenir compte de la durée de vie ou du temps de fonctionnement, du poids de l'équipement, du taux de recyclabilité et du lieu de fabrication.

Quelques exemples

À titre d'illustration, en région PACA, entre 180 et 231 GWh d'économies d'énergie seraient réalisables en remplaçant les installations vétustes, l'équivalent de 7 270 lampes SHP 100 W directement orientées vers le ciel en matière de pollution lumineuse (ALECMM - 2016).

La Ville de Paris est signataire d'une charte visant à réduire l'impact de l'éclairage sur la biodiversité. À ce titre, plusieurs actions ont été mises en place :

- éviter les LED de couleurs blanches froides (exigence de température de couleur comprise entre 3 000 K et 2 700 K dans le centre historique)
- Effort sur l'ULOR des luminaires : aujourd'hui, 83 % (76 % en 2013) respectent les exigences parisiennes en la matière. Le principal effort reste à porter sur les luminaires piétons
- Utilisation d'indicateurs spécifiques : taux de lumière perdue (prenant en compte le type de lampes, l'ULOR, et le rendement du luminaire) ainsi que le PLZE (mesure la quantité de lumière émise au-dessus des luminaires (en lumen) multipliée par le temps de fonctionnement annuel de chaque source émettrice)
- Optimisation des temps de fonctionnement dans plusieurs zones : régime « squares »...
- Création d'une zone test d'éclairage durable pour mesurer l'impact de l'éclairage dans les parcs et jardins.

La Ville de Wuppertal en Allemagne a concilié développement urbain et protection de la biodiversité. L'éclairage est réglé de telle sorte que les émissions de lumière ne dépassent pas une certaine hauteur, créant un corridor pour la biodiversité.

Conjuguer éclairage public et biodiversité : l'expérience lilloise

Permettre aux citoyens d'avoir un éclairage nocturne tout en préservant la faune peut relever du casse-tête. Lille expérimente plusieurs solutions : des températures de couleur, la puissance, le rayonnement ou encore les horaires d'extinction... Détails.

Dans le cadre des travaux sur la trame verte et bleue (TVB), une nouvelle problématique s'est imposée à la municipalité de Lille : la trame noire. *“La pollution lumineuse touche les espèces nocturnes mais aussi diurnes, explique Yohan Tison, écologue à la mairie de Lille. Les poissons, les bourdons, les oiseaux migrateurs sont aussi impactés”*.

Depuis une dizaine d'années, la direction des parcs et jardins et le service de l'éclairage public travaillent ensemble pour réduire la pollution lumineuse. Le secteur de l'île de la citadelle, un parc “semi naturel” situé en coeur de ville, a été identifié comme prioritaire, car il héberge notamment des chauves-souris. Plusieurs solutions y sont testées depuis 2017 afin de préserver la faune locale, tout en maintenant un éclairage pour les citoyens. A terme, l'objectif est de relier les autres espaces de la ville à cette trame : *“pour qu'elle soit fonctionnelle, il faut qu'elle fasse un rayon de 20 km afin de permettre aux différentes populations de se rencontrer”*, souligne Yohan Tison.

Identifier les impacts

L'éclairage a d'abord un effet d'attraction sur certaines espèces d'insectes, ce qui peut freiner leur reproduction et impacter toute la chaîne alimentaire qui en dépend. A l'inverse, la lumière peut aussi avoir un effet barrière pour les populations lucifuges. Certaines espèces de chauves-souris sont, par exemple, incommodées par la lumière et ne peuvent plus se déplacer pour se nourrir ou se reproduire. A la citadelle de Lille, certaines populations, composées de quelques individus (quatre à dix), risquent de disparaître. Enfin, en décalant les périodes de chasse nocturne de certains prédateurs, l'éclairage public met en péril d'autres espèces, qui deviennent plus vulnérables (chauves-souris, oiseaux migrateurs...).

Différentes solutions expérimentées

En cernant ces différentes problématiques et en cartographiant les zones à enjeux, différentes solutions ont émergé pour adapter, le plus possible, l'éclairage public aux enjeux de la biodiversité locale. Les zones de chasse des chauves-souris lucifuges ont été identifiées et sont au maximum préservées des lumières artificielles. Le coeur du parc reste donc plongé dans l'obscurité la nuit. Pour éviter de fractionner ces zones, une partie de l'éclairage public traversant la citadelle est éteint à 22h, plongeant ainsi la grande majorité du parc dans l'obscurité. Dans deux zones, est expérimentée une lumière d'éclairage plus adaptée au cycle de vie des animaux. Enfin, dans les zones périphériques du parc, la puissance d'éclairage et le rayonnement lumineux ont été diminués. Sur un pont situé à proximité de la citadelle, le niveau d'éclairage est adapté en fonction des détecteurs de présence.

Une mise en oeuvre pas si simple...

Mais réduire l'impact n'est pas si simple... *“Nous avons choisi une extinction en milieu de nuit au coeur du parc. Sauf que la faune est plus active en début de nuit”*, souligne Damien Morineaux, responsable de l'éclairage public. Et les joggers aussi ! Difficile donc d'éteindre plus tôt les lampadaires, au risque de voir se multiplier les lampes frontales chez les fans de la course à pied, pas forcément meilleures pour la faune nocturne... *“Il faut rechercher des solutions de compromis entre les déplacements humains et la protection de la biodiversité*, poursuit le responsable. *Les longueurs d'onde du bleu dans la lumière blanche sont les plus nuisibles pour la faune. La technologie LED permet de choisir la température de couleur. Nous expérimentons donc trois plateaux LED avec différentes températures de couleur depuis 2017”*.

Autre difficulté : l'éclairage avec des détecteurs de présence sur le pont, traversé par une route départementale : *“Entre les piétons, les cyclistes et les automobilistes, cette route est tellement empruntée que jusqu'à minuit ou 1h, elle est constamment illuminée”*. Or, elle fait partie des obstacles infranchissables pour les espèces qui craignent la lumière...

Enfin, d'autres sources de lumières peuvent entrer en jeu : *“Selon une étude de la ville de Paris, l'éclairage public représente moins de la moitié de la pollution lumineuse. Les enseignes, les écrans publicitaires, les stades y contribuent largement”*, explique Damien Morineaux.

Quid des résultats ? *“Les solutions de la réduction des nuisances peuvent avoir une réponse rapide chez les populations d'insectes. En revanche, pour les chauves-souris qui ont une reproduction plus lente, il faudra plus de temps pour vérifier les effets”*, estime Yohan Tison. Les différentes solutions déployées et les paramétrages des lumières testés feront l'objet d'évaluations. Seule certitude pour l'instant : le déploiement de ces solutions a permis de réduire de moitié la facture énergétique liée à l'éclairage public dans cette zone.

Article publié le 05 mars 2019



Sophie Fabrégat , journaliste
Rédactrice en chef adjointe

Sciences Eaux & Territoires

Article hors-série numéro 45

Trame noire : un sujet qui « monte » dans les territoires

La notion de « trame noire » a fait son apparition depuis quelques années, s'ajoutant à celle de « trame verte et bleue » déjà bien connue. L'objectif est de limiter la dégradation et la fragmentation des habitats dues à l'éclairage artificiel par l'intermédiaire d'un réseau écologique formé de réservoirs et de corridors propices à la biodiversité nocturne. Plusieurs démarches de trames noires sont en cours ou même déjà achevées en France. Cet article présente deux projets menés dans des territoires très contrastés, l'un dans le Parc national des Pyrénées et l'autre sur la Métropole européenne de Lille.



Depuis des milliards d'année, la Terre vit au rythme d'une alternance de jour et de nuit et ce facteur extérieur – extrêmement stable sur le temps long – a profondément structuré l'évolution du vivant. Or, le développement des sociétés humaines s'est traduit par une urbanisation massive ces dernières décennies, qui s'est elle-même accompagnée d'une démultiplication des éclairages artificiels nocturnes. Ceux-ci génèrent alors une pollution lumineuse qui engendre des effets néfastes dans plusieurs domaines et en particulier celui de la biodiversité.

En effet, par un pouvoir d'attraction ou de répulsion selon les espèces, la lumière artificielle nocturne perturbe les déplacements de la faune. Ce phénomène se répercute à l'échelle des populations et des répartitions d'espèces : certaines étant inévitablement désorientées vers des pièges écologiques, et d'autres voyant leur habitat se dégrader ou disparaître (Picchi *et al.*, 2013). Depuis peu, il est également démontré que l'éclairage nocturne peut constituer des zones infranchissables pour certains animaux à l'échelle d'un paysage (Van Grunsven *et al.*, 2017), occasionnant ainsi une fragmentation des populations (figure 1). La pollution lumineuse agit également sur d'autres niveaux de la biodiversité tels que les relations interspécifiques, notamment la relation proie/prédateur et la pollinisation/dispersion des graines (Knop *et al.*, 2017). Elle a donc potentiellement des effets sur les services rendus par les écosystèmes. Elle désynchronise aussi les horloges biologiques chez la faune et la flore. Au final, elle touche tous les groupes biologiques et tous les milieux (terrestres, aquatiques, marins...).

Lorsque la politique « Trame verte et bleue » (TVB) a été initiée en 2007, la problématique de la pollution lumineuse était émergente dans la sphère politique et opérationnelle malgré une littérature scientifique déjà abondante. En revanche, en l'espace de dix ans, ces enjeux ont profondément percolé dans les territoires et dans la société, et ils sont désormais de plus en plus pris en compte par les écologues et les gestionnaires d'espaces naturels, mais aussi par les collectivités, les urbanistes ou encore les éclairagistes. Afin de réduire la disparition et la fragmentation des habitats par la lumière artificielle nocturne, les réseaux écologiques représentent précisément un levier adapté. Il existe plusieurs manières d'intégrer cette problématique dans une TVB. L'une des possibilités est d'identifier des zones de conflits entre la TVB et la pollution lumineuse. C'est ainsi que dès 2012, le Parc naturel régional des Causses du Quercy a initié une démarche en ce sens (Granier, 2012). Une autre possibilité est d'aller jusqu'à identifier une trame noire, c'est-à-dire des continuités écologiques caractérisées par leur obscurité, à préserver ou restaurer. Ce réseau peut être obtenu à partir d'une trame verte et bleue déjà caractérisée à laquelle sont soustraites les zones trop lumineuses. Mais il peut aussi être identifié en prenant directement en compte les besoins d'obscurité des espèces nocturnes lors de l'identification des corridors et des réservoirs.

En France, des démarches d'identification de trames noires commencent à émerger ces dernières années (Sordello, 2017). En particulier, deux projets ont été menés dans deux contextes très distincts : l'un dans un espace protégé dédié à la biodiversité, le Parc national des Pyrénées, l'autre dans un milieu urbain dense, l'agglomération européenne de Lille.

Vers une trame noire sur la métropole de Lille

La métropole européenne de Lille renouvelle son parc d'éclairage public et en profite pour réfléchir à la mise en place d'une trame noire afin d'améliorer la connectivité des espaces obscurs. Elle s'appuie pour cela sur un consortium de recherche pluridisciplinaire : le bureau d'étude Biotope, l'université de Lille, le Muséum national d'histoire naturelle de Paris, le Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive de Montpellier appuyés par la ville de Lille, les espaces naturels Lille Métropole et une association naturaliste, la Coordination mammalogique du Nord de la France.

Le projet TRAMENOIRE est un programme de recherche porté par le bureau d'études Biotope. Il émane d'un appel à projets de recherche « Biodiversité » lancé par la Région Nord-Pas de Calais (désormais Région Hauts-de-France) et la Fondation pour la recherche sur la biodiversité (FRB) en 2014. Par ailleurs, il est soutenu et labellisé par le programme « Infrastructure de transport terrestre écosystème et paysage (ITTECOP) » du ministère de la Transition écologique et solidaire et l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME).

Ce projet cherche à répondre à trois questions :

- Peut-on s'appuyer sur le réseau de corridors existant pour le développement d'une trame noire locale ?
- Quel est l'état actuel de la connectivité écologique nocturne à l'échelle de la Métropole ?

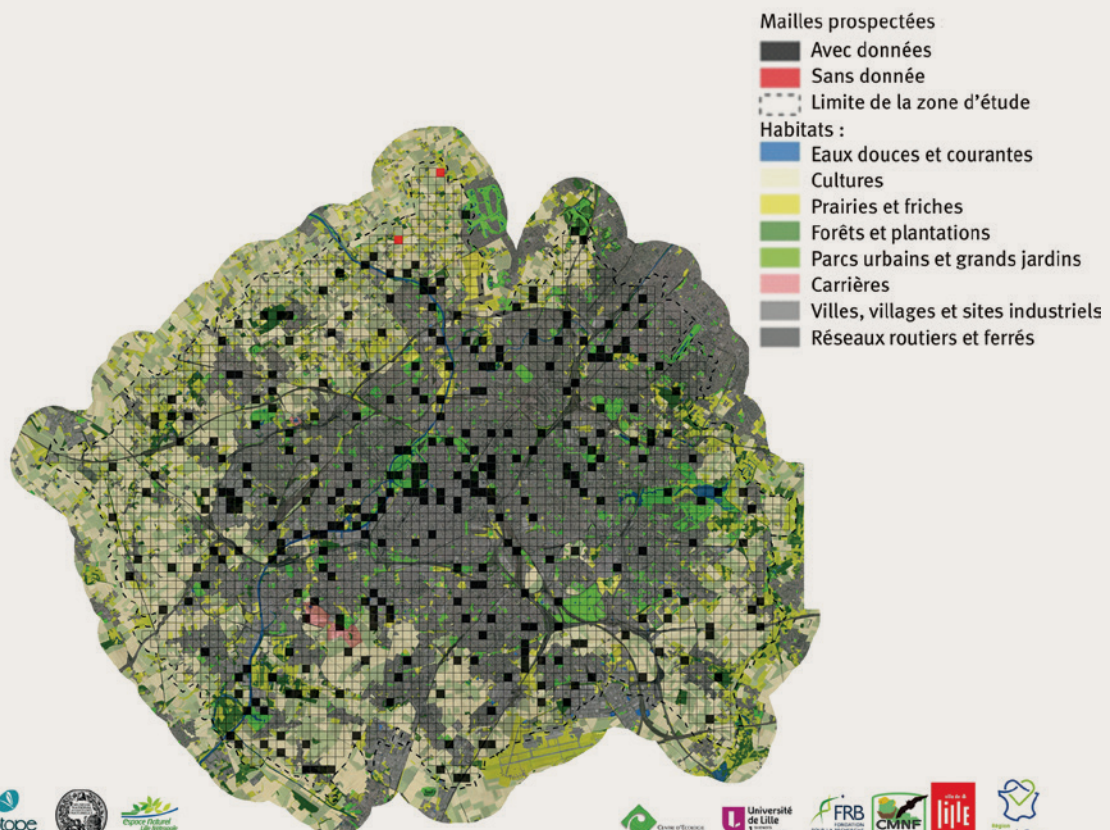
- Peut-on améliorer cette connectivité en réduisant l'intensité lumineuse ?

Pour y répondre, un premier volet écologique s'est appuyé sur des inventaires de chauves-souris pour identifier et mettre en œuvre les trames noires dans l'espace. En complément, des études sociologiques ont été menées pour mesurer le niveau d'acceptabilité sociale de l'évolution des modes d'éclairage et l'appropriation du projet par les riverains.

Modéliser les trames noires à partir de la distribution spatiale des chauves-souris

La première étape du projet basée sur des inventaires écologiques a permis de déterminer la diversité des espèces de chauves-souris présentes sur l'aire d'étude puis de quantifier leur niveau d'activité. Trois cent quatre-vingt-dix-neuf sites ont été sélectionnés en fonction de leurs caractéristiques environnementales. L'objectif était de pouvoir comparer des milieux présentant des gradients d'intensité lumineuse, d'urbanisation, de présence de cours d'eau ou d'éléments arborés... Les inventaires ont ainsi été réalisés sur des nuits complètes (trois cent cinq sites en 2015 et quatre-vingt-quatorze sites en 2016) dans les secteurs les plus contrastés de l'aire d'étude (figure 4), depuis les territoires ruraux exempts d'éclairages jusqu'aux secteurs urbains intensément éclairés.

4 Localisation des points d'échantillonnage sur le territoire de la métropole européenne de Lille (source : Biotope).



(...)

▶ Quelle acceptabilité sociale pour les riverains et les usagers ?

Et pour les hommes ? Ces scénarios sont-ils acceptés par les habitants et par les professionnels de la ville ? Le volet social du projet TRAMENOIRE a aussi pour objectif de conforter le concept de trame noire et d'en optimiser la mise en œuvre opérationnelle. L'étude de sa perception par le public était donc primordiale.

Une analyse réalisée sur plusieurs communes montre que le concept de trame noire en France est encore très jeune et mal défini. Les résultats d'enquête auprès de la population montrent qu'*a priori*, la trame noire est socialement acceptable.

Les enquêtes révèlent la bonne connaissance des citoyens en matière de faune nocturne et ceux-ci ont également conscience de la diversité des espèces avec lesquelles ils cohabitent en zone urbaine et périurbaine. Alors que les espèces nocturnes sont généralement bien appréciées, la chauve-souris suscite beaucoup d'indifférence et intéresse moins de la moitié des enquêtés.

La grande majorité des personnes interrogées s'accordent sur les effets néfastes de l'absence de nuit sur la faune nocturne. D'une manière générale, les citoyens se disent prêts à renoncer au confort que leur octroie l'éclairage public pour protéger ces espèces des impacts de la lumière artificielle. Les résultats de l'étude mettent en évidence l'intérêt d'associer les riverains dès le début des projets de mise en place d'une trame noire. Il paraît également intéressant d'expérimenter des modifications de l'éclairage public pour étudier les effets sur la biodiversité et pour étudier l'acceptabilité sociale des modes innovants d'éclairage public mis en place lors de la création d'une trame noire. Les solutions techniques existent (démocratisation des LED) et les modalités d'éclairage sont diverses et peuvent être adaptées aux besoins et/ou aux contraintes locales (extinction totale, partielle, éclairage à la demande...). La frilosité des élus est un frein certain à la démocratisation des trames noires (crainte d'une opposition citoyenne ou de l'insécurité). Afin de favoriser la mise en œuvre de ces trames, un argumentaire à destination des élus a également été élaboré dans le cadre du projet TRAMENOIRE.

Perspectives

Même si la pollution lumineuse est peu mise en avant dans le cadrage national de la TVB en vigueur, défini en 2010, des initiatives ont émergé à l'échelle locale pour prendre en compte cette problématique. Ces projets constituent aujourd'hui des retours d'expériences qui pourront entraîner d'autres démarches. La recherche en écologie a également fortement progressé en dix ans, consolidant le corpus de littérature sur les impacts et apportant de plus en plus d'éléments pour passer à une phase opérationnelle (identification de trames noires, gestion de la lumière artificielle...). Néanmoins, sur ce dernier point, des manques de connaissance persistent. Le groupe des chauves-souris, bien qu'étudié depuis peu, figure désormais parmi les plus concrètement mobilisables, ce qui explique ce choix dans les projets à Lille et dans les Pyrénées. D'autres groupes comme les rapaces nocturnes ou les vers luisants constitueraient probablement de bons modèles ou indicateurs, mais ils font encore l'objet de trop peu d'études appliquées. La recherche doit être encouragée et soutenue en ce sens. ■

Les auteurs

Romain SORDELLO

UMS 2006 Patrimoine Naturel AFB-CNRS-MNH,
61 rue Buffon, CP53, F-75005 Paris Cedex, France.

✉ romain.sordello@mnhn.fr

Olivier JUPILLE et Éloïse DEUTSCH

Parc National des Pyrénées,
Villa Fould, 2 rue du IV septembre,
BP 736, F-65007 Tarbes Cedex, France.

✉ olivier.jupille@pyrenees-parcnational.fr

✉ eloise.deutsch@pyrenees-parcnational.fr

Sébastien VAUCLAIR

Dark Sky Lab,
3 rue Romiguières, F-31000 Toulouse, France.

✉ sebastien@darkskylab.com

Léa SALMON-LEGAGNEUR

Sciences en Bigorre,
2 rue du IV septembre, F-65000 Tarbes Cedex, France.

✉ lea.salmon-l@fermedesetoiles.fr

BAPTISTE FAURE

Biotope, ZA de la Maie, Avenue de l'Europe,
F-62720 Rinxent, France.

✉ Bfaure@biotope.fr

EN SAVOIR PLUS...

📖 **DEVERCHÈRE, P., VAUCLAIR, S., BONAVITACOLA, M.**, 2018, *Mesure et modélisation de la pollution lumineuse*, Dark Sky Lab, 8 p., disponible sur : <http://darkskylab.com/publications/Mesure%20et%20mod%C3%A9lisation%20-%20DarkSkyLab%20-%20mars%202018.pdf>

📖 **GRANIER, H.**, 2012, *Comment prendre en compte la pollution lumineuse dans l'identification des continuités écologiques ?*, Université Paris Diderot, Application au territoire du Parc naturel régional des Causses du Quercy, 188 p.

📖 **KNOP, E., ZOLLERA, L., RYSERA, R., GERPEA, C., HÖRLERA, M., FONTAINE, C.**, 2017, Artificial light at night as a new threat to pollination, *Nature*, vol. 548, p. 206-209, disponible sur : <https://doi.org/10.1038/nature23288>

📖 **PICCHI, M.-S., AVOLIO, L., AZZANI, A., BROMBIN, O., CAMERINI, G.**, 2013, Fireflies and land use in an urban landscape: the case of *Luciola italica* L. (Coleoptera: Lampyridae) in the city of Turin, *Journal of Insect Conservation*, vol. 17, n° 4, p. 797-805, disponible sur : <https://doi.org/10.1007/s10841-013-9562-z>

📖 **SORDELLO, R.**, 2017, Pollution lumineuse et trame verte et bleue : vers une trame noire en France ?, *Territoire en mouvement, Revue de géographie et aménagement*, vol. 35, disponible sur : <https://doi.org/10.4000/tem.4381>

📖 **VAN GRUNSVEN, R.H.A., CREEMERS, R., JOOSTEN, K., DONNERS, M., VEENENDAAL, E.M.**, 2017, Behaviour of migrating toads under artificial lights differs from other phases of their life cycle, *Amphibia-Reptilia*, vol. 38, p. 49-55, disponible sur : <https://doi.org/10.1163/15685381-00003081>



Eclairage intelligent



La bonne lumière, au bon endroit, au bon moment

L'émergence de **nouvelles technologies** comme les **LED** permet une véritable révolution de l'éclairage public. Dotés d'une durée de vie **plus longue** et d'une meilleure **efficacité énergétique**, les LED assurent un éclairage de **qualité**, au **coût** et à l'**empreinte carbone faibles**.

Grâce à la **télégestion**, aux **capteurs de présence** et de **luminosité**, l'éclairage devient **intelligent**. Il peut s'ajuster **automatiquement** ou être **piloté à distance**.

L'éclairage intelligent selon Citelum, c'est un éclairage **adapté** pour **plus de confort et de sécurité**.

Vous souhaitez :

- Diminuer la facture d'électricité de la ville
- Réduire les coûts de maintenance
- Améliorer la qualité et la disponibilité de la lumière
- Améliorer la sécurité de la ville
- Respecter les normes et réduire les nuisances lumineuses
- Réduire l'empreinte carbone
- Disposer d'une infrastructure prête à héberger de nouveaux services intelligents

L'éclairage intelligent par Citelum :

- Remplacement des luminaires obsolètes par des LED, plus économes, robustes, modulables et disposant d'une durée de vie plus longue
- Pilotage de l'éclairage public (à l'échelle de la ville, d'un quartier, d'un point lumineux) via le logiciel de télégestion MUSE® : allumage / extinction, réglage de la luminosité, programmation événementielle, alertes temps réel...
- Equipement des candélabres de systèmes de détection : caméras, capteurs de présence, de luminosité...
- Intégration facilitée de nouveaux services connectés grâce au réseau d'éclairage public

Le saviez-vous ?

L'éclairage représente plus de **40% de la facture d'électricité** des communes

Le passage aux **nouvelles technologies d'éclairage** permet jusqu'à **90% d'économies** d'énergie

Les **LED** ont une durée de vie **5 fois plus élevée** que les ampoules traditionnelles



La rénovation de l'éclairage, comment ça marche ?

Analyse de la ville :

- Diagnostic du parc existant et étude préliminaire de la ville : histoire, architecture, activité, trafic, etc.
- Choix avec la ville des priorités de rénovation selon les zones géographiques, la vétusté du parc, etc.
- Réalisation d'un « Schéma Directeur d'Aménagement Lumière » et / ou de « Plans Lumière »

Proposition d'équipements techniques :

- Citelum propose à la ville plusieurs scénarios-lumière et plusieurs technologies d'éclairage intelligent :

Rénovation LED :

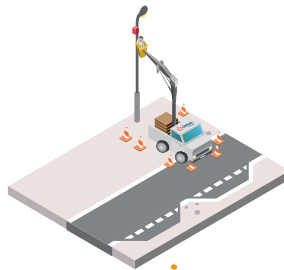
Remplacer les luminaires vieillissants par la dernière technologie en date.

Télégestion (MUSE®) :

Assurer à distance et en temps réel le pilotage et la maintenance du parc.

Capteurs :

Constater l'activité et ajuster l'intensité lumineuse de chaque candélabre.



Travaux, Exploitation et Maintenance :

- Installation des mâts d'éclairage, des armoires électriques et des équipements embarqués par les équipes de Citelum
- Entretien et maintenance des équipements



Supervision et pilotage via le logiciel MUSE® :

- Surveillance, contrôle et diagnostic en temps réel de l'ensemble des équipements et services
- Gestion et Maintenance Assistée par Ordinateur
- Analyse des données

Rénovation LED:

- Jusqu'à **50% d'économies** d'énergie
- Maintenance réduite
- Eclairage homogène
- Sécurité renforcée
- Intensité lumineuse réglable
- Luminosité plus naturelle (palette de couleurs allant de l'orangé au blanc / bleu)

Télégestion avec MUSE®:

- Jusqu'à **20% d'économies** d'énergie supplémentaires
- Information temps réel de la consommation d'énergie et des pannes
- Gestion à distance de l'allumage / extinction, de l'intensité lumineuse, etc.
- Adaptation en temps réel de l'éclairage aux activités de la ville
- Création de scénarios-lumière prédéfinis

Capteurs :

- Jusqu'à **20% d'économies** d'énergie supplémentaires
- Un candélabre intelligent et autonome
- Une infrastructure connectée prête à accueillir de nouveaux services intelligents

Dans son offre d'éclairage intelligent, Citelum s'engage sur les résultats

BIODIVERSITÉ

Construire une trame noire, un enjeu complexe

Hélène Huteau | France | Ingénierie | Publié le 29/03/2018

En plus d'économie d'énergie et d'efficacité lumineuse, il faut désormais penser faune et flore, en matière d'éclairage public. Pour aller plus loin que la simple réduction de nuisances et se donner les moyens de protection de la biodiversité, certaines collectivités expérimentent le traçage d'une trame noire, corridor écologique nocturne.

Durant les cinq prochaines années, les collectivités vont devoir investir des millions d'euros dans la mise en conformité de leurs ouvrages d'éclairage, du fait de la vétusté des installations et des directives européennes. Selon l'Ademe, 4 millions de points lumineux sur 10 au total ont en effet plus de vingt-cinq ans. Ce pic de rénovation est l'opportunité d'inclure dans la réflexion, les nuisances nocturnes pour la biodiversité, tel que le stipule la loi Biodiversité.

Biodiversité nocturne

Si toutes les régions ont conscience qu'il s'agit d'un enjeu du schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires (Sraddet), il n'y a pas encore de méthodologie, ni de recommandation nationale pour construire sa trame noire. Les initiatives se multiplient cependant au niveau local pour expérimenter des méthodes et augmenter le champ très vaste des connaissances à acquérir sur la biodiversité nocturne et sa réaction à la lumière.

La notion même de trame noire ou trame sombre se cherche encore. Les enjeux de la pollution lumineuse sont identifiés dans les schémas régionaux de cohérence écologique (SRCE ^[1]), et quatorze sur vingt-deux ont mis en place un plan d'action stratégique pour en atténuer les effets (source : MNHN ^[2]) mais aucun encore n'a identifié de continuité écologique l'intégrant.

Essais pionniers et recherche expérimentale

Parmi les pionniers dans les tentatives de trames nocturnes, Romain Sordello, du Muséum national d'histoire naturelle (MNHN) de Paris, identifie deux approches : la première, dite intégrative et suivie par Lille, consiste à cumuler les éléments de pollution lumineuse (publics et privés) aux autres facteurs fragmentants du paysage, pour identifier réservoirs et corridors écologiques. Une modélisation de la connectivité du paysage urbain a été faite par exemple pour chaque espèce de chauves-souris à partir de données collectées sur le terrain. On mesure toute la difficulté de combiner les besoins de toutes les espèces, y compris humaines, en pleine ville, quand, ne serait-ce que pour les chauves-souris, les réactions sont opposées, entre les espèces lucifuges et photophiles, dans les mêmes conditions d'éclairage.

L'autre approche pour délimiter une trame noire, déductive, est plus rapide. Elle consiste à croiser les cartes des zones lumineuses avec les différentes sous-trames de la trame verte et bleue (TVB). Le parc naturel régional des Causses du Quercy a ainsi identifié les zones de conflits en 2012. Il alimente actuellement ce travail d'un programme de recherche expérimentale, sur les mammifères terrestres, afin de mieux caractériser les futures trames noires. Le parc national des Pyrénées a engagé, avec le parc naturel régional des Pyrénées ariégeoises, une démarche incluant un critère supplémentaire : la qualité du ciel étoilé, bien commun aujourd'hui menacé.

Le parc national partage une partie de son périmètre avec la première réserve internationale de ciel étoilé (Rice) d'Europe et la plus vaste au monde (3 000 km², 65 % des Hautes-Pyrénées), dans laquelle 251 communes sont engagées. La cartographie de la pollution lumineuse a été menée par le bureau d'études Dark Sky Lab, puis superposée à la TVB, après détermination d'un seuil de sensibilité pour les chauves-souris (espèces modèles). Ensuite, chaque élément de la trame, notamment les réservoirs de biodiversité, est noté, en intégrant la lumière nocturne, critère de dégradation des habitats. À la dimension environnementale et scientifique, s'ajoutent celles économique et sociale du projet, qui possèdent un comité de pilotage politique avec des groupes de travail.

L'éducation à l'environnement et la valorisation touristique font partie des leviers du succès d'une trame noire. En revanche, naturalistes et astrophysiciens ont dû faire des concessions et abandonner la préconisation de l'extinction totale de l'éclairage. « L'idée était trop clivante, entre urbains et ruraux, et freinait le remplacement de l'éclairage », témoigne Bruno Rouch, directeur général du SDE 65. Le syndicat départemental de l'énergie des Hautes-Pyrénées a plutôt distribué un guide de l'éclairage, afin que chaque commune l'adapte à sa situation. La baisse de puissance au milieu de la nuit a, en revanche, pu être généralisée.

Levée du moratoire sur les leds

Les territoires de la Rice se sont longtemps interdit les leds, dans leur rénovation, à cause du spectre ^[5] de lumière bleue qu'elles utilisent, qui nuit au rythme biologique jour/nuit (cycle circadien), des animaux comme des humains, et se propage davantage. Mais la technologie évoluant et les luminaires se faisant très précis, Sébastien

Vauclair, astrophysicien, gérant du Dark Sky Lab, les préconise à présent : « quand on passe du sodium à la led, on perd en température de couleur mais on gagne tellement sur les autres paramètres, que c'est un choix gagnant », estime-t-il. La programmation, la télédétection et la télégestion des points lumineux équipés de leds permettent en effet une adaptation fine de l'éclairage aux usages et dans la temporalité. En outre, la led ambrée a fait son apparition, pour les sites à fort enjeu de biodiversité (au prix d'une perte de 40 à 45 % de son efficacité énergétique, selon l'Association française de l'éclairage (AFE ^[6])).

Bonne nouvelle, donc : on peut concilier qualité du ciel étoilé, préservation de la biodiversité et économies d'énergie. Attention cependant, car les collectivités ont tendance à augmenter les points lumineux suite aux économies de consommation générées, ce qui ne va, cette fois, pas dans le sens de la réduction des nuisances.

Les recommandations générales qui se dégagent des expérimentations actuelles et passées, tirées par le MNHN, sont un spectre lumineux le plus étroit possible, une température de couleur inférieure à 3 000°K et un Ulor inférieur à 1 % (lumière émise vers le ciel). Patrick Duguet, responsable éclairage public de la ville de Paris, affirme que la capitale a atteint 98 % de ses luminaires respectant cet Ulor. Mais ce critère n'est pas le seul responsable de la lumière diffuse, car il faut considérer aussi la lumière réfléchie. La norme expérimentale XP90-013 sur les nuisances lumineuses est une équation, permettant d'optimiser, par le calcul, les différentes caractéristiques des équipements (lire encadré). Proposée en 2011 par l'AFE, elle n'est pas entrée en vigueur faute de consensus avec les ONG ^[7]. Elle s'apprête à être revue cette année par l'Afnor.

Bâtiments non résidentiels

Que ce soit l'intérieur des bâtiments non résidentiels, leurs façades ou encore les parkings, ils doivent être éteints la nuit – au moins entre 1 h et 6 h du matin – afin de limiter les nuisances lumineuses (arrêté du 25 janvier 2013). Il appartient au maire de contrôler la conformité de ces installations, qui représentent souvent la majeure partie des nuisances, faute d'application.

L'éclairage public et le mobilier urbain intelligents

Introduction

Le 1er juillet 2013, l'arrêté rendant obligatoire l'extinction des vitrines, des bureaux et des façades de bâtiments la nuit est entrée en vigueur. Cette mesure fait partie des décisions prises à la suite du Grenelle de l'environnement, qui a inséré dans la loi la notion de pollution lumineuse. Ainsi, l'article 173 de la loi dite « Grenelle 2 » du 12 juillet 2010 introduit dans le droit de l'environnement la prévention des nuisances lumineuses et un objectif d'économies d'énergie visant à réduire les émissions inutiles de lumière artificielle, sans nuire à la sécurité publique ou à la sûreté d'installations et d'ouvrages sensibles.

L'éclairage public participe à la fois à la sécurité publique, en jouant un rôle important dans la perception nocturne des espaces publics (identification des différents usagers, perception de leur comportement, détection des obstacles éventuels de la voirie), à la convivialité et à l'embellissement des espaces publics en mettant en valeur le patrimoine et en créant des ambiances nocturnes agréables. Il est aujourd'hui au cœur des préoccupations dans la construction de la ville de demain et, ce, pour plusieurs raisons.

L'éclairage public : un gouffre énergétique

La première raison est économique. En France, 9 millions de lampes fonctionnent entre 3 500 et 4 300 heures par an pour une puissance installée d'environ 1 260 MW. L'éclairage public des villes représente près de la moitié de la consommation d'électricité des collectivités territoriales, soit 18 % de leur consommation toutes énergies confondues. Le poids de l'éclairage public dans la facture des collectivités est donc très important.

Il est donc nécessaire pour les collectivités territoriales d'investir dans des technologies intelligentes capables de faire baisser leur consommation d'électricité. Cela est d'autant plus vrai que, lors du Grenelle de l'environnement, une analyse de l'état des lieux des installations d'éclairage a fait apparaître d'importants besoins de rénovation. Plus de la moitié du parc est composée de matériels obsolètes (40 % des luminaires en service ont plus de 25 ans) et énergivores : boules diffusantes, lampes à vapeur de mercure (environ 1/3 du parc), etc.

À l'échelon européen, ces investissements dans des technologies d'éclairage public intelligent pourraient représenter des économies d'énergie annuelles de l'ordre de 38 TWh, soit une réduction 63,7 % de la consommation d'énergie par l'éclairage public (source : projet E-Street).

De nouveaux enjeux environnementaux et culturels en ville

Depuis les premières lanternes à huile déposées en 1558 devant quelques portes et fenêtres parisiennes jusqu'aux systèmes d'éclairage les plus récents à diodes électroluminescentes, les critères de performance et de sécurité sont au cœur des exigences des acteurs de l'éclairage extérieur (villes, fabricants, maîtres d'ouvrage, etc.).

Cependant, aujourd'hui, de nouveaux enjeux préoccupent les acteurs de la ville de demain. L'éclairage public, comme le mobilier urbain, doivent répondre à des critères socio-culturels et à des critères environnementaux :

critères sociaux et culturels : la sécurité des personnes et des biens reste la première priorité, qu'elle soit immédiate (sécurité des déplacements dans les espaces publics), ou de long terme (limitation des rejets de CO2 et des effets du changement climatique). Elle s'accompagne de la recherche d'une qualité de vie, d'un confort et d'une convivialité que les ambiances lumineuses judicieusement réparties dans l'espace et le temps et un mobilier urbain utile, opportun et bien inséré dans la ville peuvent procurer. Par un aménagement intelligent des zones urbaines, il s'agit de faire réapparaître dans les villes une vie sociale en dehors du domicile et de faire renaître un lieu d'échanges, de rencontres et de loisirs. Les espaces urbains sont la vitrine de la ville, le reflet de son dynamisme et de son identité ;

critères environnementaux : il existe un vrai enjeu politico-économique dans l'aménagement des zones collectives. C'est pourquoi petit à petit, certaines municipalités innovantes privilégient les aménagements naturels et économes en entretien. Des consommations contrôlées, des nuisances lumineuses limitées, un éclairage adapté aux seules exigences visuelles, etc., sont autant de critères à prendre en compte pour des installations respectueuses de l'environnement.

L'introduction de l'intelligence pour concilier ces différentes contraintes

Poussées par les contraintes réglementaires et budgétaires, mais également afin de concilier les enjeux sociaux, environnementaux et d'attractivité, les villes cherchent des solutions innovantes pour mieux gérer leur éclairage public et développer un mobilier urbain adapté aux attentes des citoyens.

Elles ont conscience de la valeur des nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) pour développer de manière efficace et durable des services pour les citoyens, visiteurs et entreprises dans tous les domaines et métiers du territoire. À l'instar des réseaux d'énergie, elles choisissent aujourd'hui de déployer les technologies de l'information et de la communication au mobilier urbain et à l'éclairage public pour les rendre intelligents.

En outre, le déploiement de ces technologies sur le réseau d'éclairage public et de mobilier urbain, permettra de renforcer l'efficacité des réseaux électriques pour l'ensemble du territoire (meilleure qualité de l'alimentation, plus grande maîtrise de la demande en énergie, etc.).

La résolution de cette nouvelle équation à laquelle les villes d'aujourd'hui sont confrontées passera par le développement de l'intelligence du mobilier urbain et de l'éclairage public. Les acteurs de la ville désignent cela par le terme de « nouvelles fonctionnalités urbaines ». Il s'agit des nouvelles possibilités de produits et de services offertes en ville grâce à l'ajout d'intelligence.

Ainsi réduire les coûts, préserver l'environnement et accroître l'attractivité de la ville ne sont pas des objectifs incompatibles. Au contraire, la recherche d'une réponse optimale implique de mener une réflexion sur les besoins véritables en termes d'éclairage public et de mobilier urbain : l'éclairage est-il vraiment nécessaire ou un simple balisage peut-il suffire ? Quand éclairer ? De manière continue dès la tombée du jour ou seulement à certaines périodes de la nuit et/ou de l'année ? Où déployer le mobilier urbain ? Quel mobilier choisir ? Etc. mais, également, de raisonner en termes de coût global et, au-delà de l'investissement initial, de tenir compte notamment de la durée de vie du matériel, de sa performance, des coûts d'exploitation, de maintenance et de recyclage.

Les solutions technologiques disponibles en matière d'éclairage public et de mobilier urbain intelligents

Les catégories de mobilier urbain

Les équipements de mobilier urbain sont nombreux. Il est possible de les classer selon leur utilité :

- mobilier d'accueil et de repos (banc public, banquette, siège, table) ;
- mobilier contribuant à la propreté de la ville (poubelles, corbeilles, sanitaires publics) ;
- équipements d'éclairage public (réverbères, candélabres) ;
- matériels d'information, de communication et de signalétique (kiosques à journaux, mâts et colonnes porte-affiches, colonnes Morris, plaques de rues, affichage d'informations municipales ou culturelles, tables d'orientation, mobilier de signalisation par panneaux de police, mobilier de signalisation lumineuse, panneaux d'information publicitaire et non publicitaire) ;
- mobilier de protection et de dissuasion (bornes, abris destinés aux usagers des transports en commun, grilles, tuteurs et corsets d'arbres) ;
- mobilier à fonction récréative (jeux pour enfants, etc.) ;
- et autres armoires électriques, mobilier d'incendie, etc.

Parmi ces équipements, une partie seulement est raccordée au réseau public de distribution d'électricité :

- éclairage public (réverbères, candélabres) ;
- bornes de recharge des véhicules électriques ;
- stations de recharge pour vélos à assistance électrique en libre-service ;
- feux tricolores, signalisation routière, plot lumineux ;
- barrières automatiques ;
- panneaux publicitaires et panneaux d'affichage (plans de quartier, de ville, informations diverses, etc.) ;abri-voyageurs ;
- kiosques à journaux ;
- colonnes Morris ;
- abribus (affichage temps d'attente) ;
- horodateurs ;
- fontaines et sanitaires publics ;
- bornes d'alimentation pour forains ;
- illuminations de Noël ;
- cabines téléphoniques ;
- caméras de surveillance et détecteurs de présence ; radars fixes ;
- poubelles publiques intelligentes.

Ces équipements ne font pas tous l'objet d'un ajout d'intelligence. Les équipements privilégiés sont principalement ceux pour l'éclairage public, l'information des usagers et la bonne circulation des véhicules. Ils sont dotés de différentes technologies de l'information et de la communication.

Les nouvelles technologies mises en œuvre

Pour l'éclairage public

Plusieurs technologies sont actuellement développées afin de rendre l'éclairage public intelligent :

- le « dimming » : cette technologie consiste à abaisser le flux lumineux des lampes en réduisant la tension d'alimentation aux heures de faible fréquentation pour réaliser des économies d'énergie. Le système permet de diminuer le niveau d'éclairage de façon progressive afin de le rendre presque imperceptible par l'utilisateur ;
- la télégestion : système de gestion globale de l'éclairage public à partir d'un centre de contrôle duquel des informations sont transférées à chaque point lumineux de manière à commander leur allumage, extinction ou « dimming » de manière individuelle ou groupée ;
- la télémaintenance : généralement complémentaire de la télégestion, permet de transférer les informations de chaque point lumineux vers le centre de contrôle, en particulier pour en connaître les dysfonctionnements, planifier et contrôler le remplacement sur le fondement de leur nombre d'heures de fonctionnement réel ;
- les capteurs de mouvement : les lampadaires sont équipés de détecteurs de mouvement, ce qui leur permet de s'allumer uniquement lorsqu'il y a du passage et donc de faire des économies d'énergie ;
- les lampadaires autoalimentés : ces lampadaires sont alimentés par des sources d'énergie renouvelable (éolienne ou panneau photovoltaïque avec stockage) et peuvent équiper des lieux nécessitant d'être éclairés mais ne disposant pas d'un réseau d'éclairage public.

(...)

Le réseau d'éclairage public dans une perspective de plate-forme multi-équipements

Les espaces publics urbains se transforment. Ces dernières années ont vu s'accélérer l'implantation de nouveaux équipements, en vue notamment de sécuriser ces espaces, de favoriser leur partage par les usagers, d'en faire des supports de communication et d'événements. Le réseau électrique, et particulièrement celui de l'éclairage public, est ainsi de plus en plus « sollicité » afin d'alimenter ces équipements, de les connecter et de les faire fonctionner dans une perspective « intelligente », c'est-à-dire, conciliant un moindre impact sur l'environnement, une ouverture à des usages multiples, ainsi qu'une optimisation des procédures et des coûts liés à l'exploitation.

L'éclairage public en mutation

Une infrastructure qui se développe sous contrainte

On dénombre 9 millions de points lumineux en France et près de 300 millions dans le monde avec en outre la perspective d'une croissance urbaine portée, notamment, par les nouvelles puissances économiques, telles que la Chine, l'Inde, le Brésil ou l'Afrique du Sud. Le rôle structurant du service de l'éclairage public (l'infrastructure et sa gestion) pour l'urbanité d'aujourd'hui et de demain peut être apprécié par son « importance matérielle ». Si l'idée d'« éclairer juste » implique que son impact sur le territoire soit minimisé, il s'agit bien d'un patrimoine en propre, à la fois matériel et financier de la collectivité, hérité, à préserver et valoriser.

Mais c'est surtout par son adéquation aux attentes exprimées par les collectivités et par la manière de le faire fonctionner que son rôle majeur sera renforcé. L'évolution qu'a connue l'infrastructure depuis près de deux décennies suit en effet une double dynamique. Parce que relevant des services énergétiques, la maîtrise de son impact environnemental — baisse de la consommation, réduction des émissions carbonées, limitation de la pollution lumineuse — est un objectif direct de la rénovation ou de l'extension des installations.

Parallèlement, on attend de l'éclairage une contribution plus positive au développement durable, en lien notamment avec des plans de déplacements urbains qui impliquent la création de nouveaux axes de circulation (pistes cyclables et parcs de stationnement associés, voies piétonnes), le renforcement de l'offre de transport collectif (tramway) ou plus écologique (véhicule électrique), la reconfiguration d'un « espace public partagé » générateur d'information et de communication (panneaux d'information, Hot Spot Wi-Fi) voire d'interactivité (le promeneur informe le système d'éclairage). Cela induit une croissance du nombre d'équipements installés directement liés à l'éclairage (points lumineux, supports), mais aussi une nouvelle disponibilité du réseau d'éclairage public pour d'autres équipements que le seul candélabre.

Les « prérequis » de la gestion des services locaux liés au réseau d'éclairage

Un certain nombre de « prérequis » [cf. Commissariat général au développement durable, Études et documents, n° 73, novembre 2012], valables pour l'évolution de l'éclairage lui-même, mais aussi, pour les « extensions » sur le réseau qui tendent à se démultiplier ont été identifiés :

- la compatibilité avec la préservation des ressources de la planète et plus particulièrement les économies d'énergie et les émissions de CO₂ ;

- les exigences de sécurité, continuité et qualité du service public ;

- une préoccupation majeure en matière de maîtrise de la dépense publique, avec un enjeu « central » concernant « l'investissement » ;

- un questionnement sur la possibilité d'appropriation (propriété, opérationnalité, maîtrise technologique) par la collectivité, notamment quand il s'agit d'un service délégué.

Ces « prérequis » correspondent aux termes d'une équation complexe dont la résolution ne relève pas exclusivement de la technique, même si la montée en puissance des technologies de l'information et de la communication qui s'opère depuis le milieu des années 1990 a déjà fait la preuve qu'elle peut apporter des solutions. Il sera surtout question ici des réponses techniques permettant de résoudre cette équation. Tout en rappelant que ces réponses sont en lien avec une approche globale du service privilégiant le long terme [cf. Rapport d'activité, Citelum 2012] et caractérisée par des engagements de performance, concrètement mesurables, à l'appui desquels sont mobilisées ces solutions.

Exemples de problématiques et réponses techniques

Agir sur les caractéristiques des équipements : le potentiel de la LED

Aujourd'hui, comme le souligne à nouveau l'ADEME en 2013, la modernisation du seul parc français, au regard en particulier des objectifs environnementaux, est loin d'être réalisée (cf. Conférence Cluster lumière, Lumiville 2013). Cependant, les collectivités sont attentives au renouvellement des équipements, en particulier des sources lumineuses, en lien notamment avec les critères de moindre consommation énergétique. Du reste, les lampes à incandescence seront prohibées à horizon 2015 à l'échelle de l'Europe.

Les années 2000 ont vu la montée en puissance de la technologie LED, sur laquelle se fondent beaucoup d'espérances. Désormais, elle s'impose dans le domaine des mises en lumière, ce d'autant plus qu'elle offre des potentialités remarquables sur le plan esthétique, dont notamment celle de faire évoluer la manière dont elles sont composées, en articulant scénarios fixes traditionnels et scénarios dynamiques. Ses caractéristiques techniques [cf. « Méthodologie d'évaluation et de contrôle de la technologie LED » : document technique élaboré par Citelum en collaboration avec le laboratoire LAPLACE (université de Toulouse) et le bureau d'études LED], ne permettent pas encore de l'utiliser en priorité pour l'éclairage public. Il est également à noter que son coût ne rend pas encore la diode compétitive par rapport à d'autres sources. Du fait de ses composants électroniques, elle s'intègre en revanche assez aisément à des dispositifs télégérés de régulation et de pilotage du réseau.

Agir sur l'interface équipement/réseau : la télégestion au point lumineux

Le fait d'agir plutôt sur les performances du réseau d'éclairage public est désormais considéré comme aussi, sinon plus, judicieux que l'amélioration de la qualité des matériels. La télégestion au point lumineux consiste à utiliser le réseau d'éclairage pour déployer un système de communication de type Intranet pilotant l'ensemble de l'infrastructure à distance, au moyen d'un boîtier électronique positionné sur le candélabre ou sur l'armoire de commande et connecté à un terminal informatique.

Cette solution répond d'abord à un objectif d'économies d'énergie pour un niveau de résultat pouvant atteindre jusqu'à 30 %. Sa mise en service assure a minima (mode dit « light ») une régulation à la source lumineuse (candélabre ou armoire) par variation de puissance. Le mode « télégestion » permet également d'agir sur la pollution lumineuse (modulation et territorialisation des niveaux d'éclairage) et la réduction des émissions de CO2 grâce à la diminution des déplacements liés aux interventions de maintenance. Toutefois, le dispositif de télégestion fonctionne lui-même sur alimentation en électricité et génère donc une consommation en propre.

L'aspect « sécurité, continuité et qualité du service public » repose sur la conformité aux normes régissant l'éclairage et les réseaux de communication. Opérationnellement, le système de télégestion contribue à améliorer les qualités fonctionnelles des installations (durabilité des sources, etc.) et surtout à optimiser les opérations d'exploitation et de maintenance (réactivité, continuité, prévention, sécurisation des intervenants). Cette approche de la maintenance est également à l'origine d'une solution informatique de la maintenance (GMAO, gestion de maintenance assistée par ordinateur).

Les deux outils, dans leur version la plus récente, sont interconnectés et ils peuvent être mobilisés, à l'amont du système, pour l'élaboration de stratégies globales de gestion de l'infrastructure lumière et des services associés, telles que les Schémas directeurs d'aménagement lumière — le SDAL est un outil de diagnostic et de préconisations d'ordre technique concernant les installations (conformité aux critères de service public, état de fonctionnement, performances) qui s'articule au projet urbain de territoire.

- L'hypothèse d'une plate-forme multi-équipements

Pertinence technique (régulation du réseau, interface électronique), prise en compte des besoins (économies d'énergie, maîtrise budgétaire, service public, appropriation) du maître d'ouvrage comme de l'exploitant : à partir de ces « acquis », il est envisageable de greffer sur le réseau d'éclairage public une multiplicité d'équipements qui seront à la fois alimentés et mis en communication.

On peut en effet constater que le réseau d'éclairage public est actuellement sous-exploité, puisqu'il ne fonctionne que durant un temps limité de la journée. On peut envisager ainsi d'utiliser l'énergie pour les besoins d'autres équipements que le candélabre, et ce sans générer de consommation supplémentaire. Par ailleurs, étant donné que le réseau maille très densément le territoire, il devient possible d'implanter de nouveaux équipements à partir d'une infrastructure existante avec laquelle, qui plus est, les gestionnaires du service public (collectivité, entreprise délégataire) sont déjà familiarisés. Les coûts de l'installation et du service sont ainsi limités pour le propriétaire, tandis qu'il évite d'accroître l'emprise déjà forte de l'infrastructure sur le territoire (la voirie) et le génie civil. La bascule de la solution originelle vers la plate-forme multi-équipements est, notamment, liée au mode « télégestion » : le pilotage en temps réel des équipements installés est facilité par l'interfaçage à un logiciel de supervision permettant d'avoir une vue précise de l'état des installations et de leur consommation énergétique.

- Un exemple d'application

C'est sur la base des fonctionnalités de la télégestion évoluée qu'un groupe d'entreprises fédérées autour de Citelum expérimente actuellement sur le territoire de la communauté du Pays-d'Aix (France), une solution de charge normale pour les véhicules électriques. La borne peut être installée sur un candélabre ou à proximité, l'alimentation en énergie s'effectuant grâce au boîtier Citenergy®. Développé sous marque TéléWatt®, ce système inclut une interface avec la téléphonie mobile, permettant ainsi à l'utilisateur d'identifier et de réserver l'équipement le plus approprié. Le déploiement du dispositif présente ainsi l'avantage :

- de limiter le coût d'investissement (pas de coût d'infrastructure, intégration à une architecture technique existante) ;
- de maintenir la performance environnementale ;
- d'être techniquement compatible avec tout type de borne de recharge pour véhicule électrique ;
- d'être attractif auprès de l'utilisateur.



Source : Schéma fonctionnement de Citenergy - Citelum

Ce dispositif répond à l'un des enjeux du Grenelle de l'environnement, à savoir le développement massif du véhicule propre sur le territoire français, particulièrement dans l'espace urbain et le périurbain. Cet objectif a conduit le législateur (décret du 27 juillet 2010) à habiliter les collectivités à créer, entretenir, exploiter ce type de service. Le projet TéléWatt® a été retenu par l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), en novembre 2012, au titre du Programme des investissements d'avenir (PIA).



Citelum est spécialiste de la gestion des services publics locaux de la lumière urbaine, de la gestion des déplacements et des équipements de sécurisation et de communication dans l'espace public. Il gère ainsi des installations d'éclairage public, de mise en lumière, de signalisation lumineuse tricolore, mais déploie et exploite aussi de nouveaux équipements électriques urbains tels que bornes de recharge de véhicules électriques, réseaux de vidéo-protection, radars de feux, etc.

Les projets d'éclairage public et de mobilier urbain intelligents en France

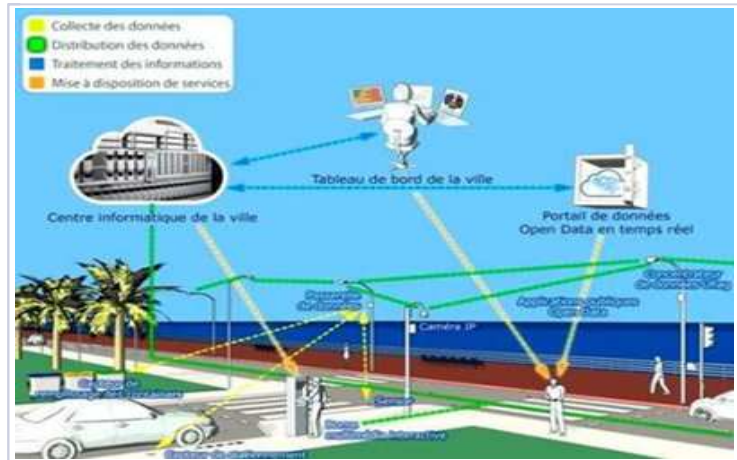
Nice (Alpes-Maritimes)

Ville-laboratoire des technologies intelligentes, Nice a lancé la première expérimentation de « boulevard connecté » en juin 2013. Le long du boulevard Victor-Hugo, la ville a installé environ 200 capteurs dans la chaussée, les lampadaires et les bennes à ordures. Ces capteurs transmettent en temps réel des données à la municipalité et permettront à terme de faire des économies de gestion, des économies d'énergie et, en principe, de rendre la vie quotidienne des habitants plus facile et plus agréable.

Grâce aux capteurs installés sur la chaussée, les automobilistes pourront consulter en temps réel, sur leur Smart phone, les places de stationnement disponibles puis payer à distance. Ce système devrait permettre de réduire le trafic routier à Nice, qui selon la municipalité est à 25 % le fait de véhicules à la recherche d'une place. Une étude de Sareco (entreprise spécialisée dans l'ingénierie du stationnement) dédiée aux enjeux du stationnement en France a d'ailleurs chiffré à 70 millions d'euros par an les externalités négatives liées à la recherche d'une place par les automobilistes français : bruit, pollution, insécurité, congestion.

Les capteurs situés sur les lampadaires permettent d'ajuster la luminosité des candélabres en fonction de la présence de passants. L'objectif est ainsi de réduire la facture de l'éclairage public qui représente jusqu'à 30 % du poste électricité d'une ville. Chaque candélabre informe également et en temps réel, les services techniques municipaux d'une éventuelle panne.

Grâce aux capteurs situés dans les bennes à ordures, la ville peut adapter la tournée de ses camions-poubelles en fonction du remplissage effectif des containers, mais également en croisant d'autres données comme l'état du trafic, la pollution de l'air, etc. L'expérimentation, entièrement financée par Cisco devrait durer une année, à la suite de laquelle la ville pourrait décider d'étendre ou non le dispositif.



Toulouse (Haute-Garonne)

La ville de Toulouse est également en pointe sur l'éclairage et le mobilier urbain intelligents.

Les lampadaires urbains à détecteur de présence

En 2009, la ville de Toulouse a lancé une expérimentation d'éclairage dynamique dans le quartier de Saint-Etienne. Sur 350 mètres, douze lampadaires du quartier sont équipés de détecteurs de présence et de diodes électroluminescentes qui permettent de faire varier rapidement l'intensité lumineuse des lampadaires de 30 W à 80 W lors de la présence de piétons. Ainsi, chaque luminaire dispose de deux rangs de DEL : le premier rang d'une puissance de 30 W éclaire toute la nuit et le second de 50 W se déclenche uniquement au passage des piétons.

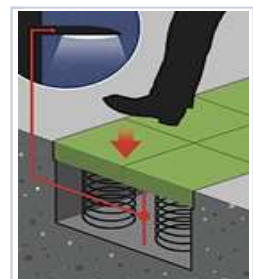
Etant donné que les lampes à détecteur de présence dédiée à l'éclairage urbain ne sont pas encore commercialisées, le service technique municipal a réalisé lui-même ce dispositif en achetant des lampadaires à DEL de la firme allemande Wees et des radars Theben.

Ce système pourrait permettre à la ville de diviser par deux ses consommations électriques liées à l'éclairage d'ici 2020.

Le trottoir électrique

En 2010, la ville a poursuivi ses expérimentations de mobilier urbain intelligent en lançant un trottoir producteur d'électricité. Le système est composé de deux dalles montées sur ressorts et reliées à des lampadaires. Lorsqu'un piéton marche sur les dalles, l'énergie mécanique produite se transforme en électricité et vient alimenter une batterie, également raccordée aux lampadaires voisins.

L'énergie mécanique produite par les piétons peut ainsi être stockée et utilisée la nuit lorsqu'il y a peu de passage.



Le stationnement intelligent

La ville de Toulouse teste également depuis 2010 un système de sondes placées dans la chaussée, reliées entre elles et à un ordinateur central qui gère les données. Ce système permet d'indiquer en temps réel aux automobilistes, via leur Smart phone, si une place est libre ou occupée.

Généralisée, cette technologie pourrait permettre de réduire de 10 % le volume de voitures en circulation en ville, selon le Centre d'études sur les réseaux de transport, l'urbanisme et les constructions publiques (Certu). Cela permettra de réduire la pollution, les émissions de CO2 et le bruit. En outre, cela offre aux collectivités territoriales un outil de régulation des déplacements.

Vif (Isère)

La commune de Vif a installé sur les voies piétonnes et cyclables de son territoire un système d'éclairage public intelligent. Le système gère le niveau d'éclairage de façon autonome, en intégrant la présence ou non d'utilisateurs. Les lampadaires s'illuminent progressivement lors du passage de promeneurs ou de cyclistes, croissant de 10 % à 100 % de leur capacité d'éclairage, à mesure de la progression de l'utilisateur. Puis ils décroissent et repassent à 10 %, après leur passage.

Ce système est fondé sur l'emploi de détecteurs de formes installés sur les 67 lampadaires à diodes électroluminescentes basse consommation. Chaque candélabre est muni d'un détecteur capable de communiquer avec ceux qui se trouvent directement à proximité.

Lorsqu'une présence est détectée sur le chemin, un signal est envoyé aux deux candélabres suivant pour déclencher l'allumage. Une vague de lumière accompagne alors le piéton ou le cycliste.

Ce projet a été subventionné par la métropole grenobloise hauteur de 684 000 euros, le reste étant à la charge de la commune.

Grâce à cette technologie, la commune de Vif devrait économiser 21 000 kWh par an, soit l'équivalent de deux tonnes de CO2.

Les nouvelles plages horaires de l'arrêté 2018

La mesure est **PRO-GRES-SIVE!**
L'objectif n'est pas de changer l'ensemble des luminaires au 1^{er} janvier 2020, mais bien de prendre en compte ces nouvelles réglementations en cas de renouvellement du parc de luminaires.

Nouveauté PARKINGS*

▶ **Allumage :**
au coucher du soleil

— **Extinction :**
2 h après la fin de l'activité

— **Allumage :**
7 h du matin ou 1 h avant le début de l'activité

Nouveauté PATRIMOINE

▶ **Allumage :**
au coucher du soleil

— **Extinction :**
1 h du matin

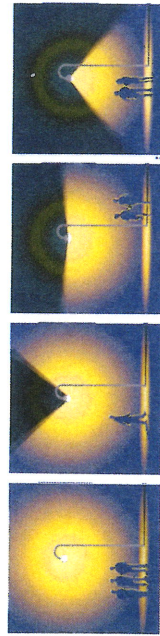
— **Exception pour les parcs et jardins :**
extinction 1 h après la fermeture.

Les éléments de l'arrêté de 2013 restent en vigueur dans l'arrêté 2018

*Parkings : parcs de stationnements non couverts ou semi-couverts

Les nouveautés techniques

1. IL EST DÉSDORMAIS INTERDIT OU FORTEMENT DÉCONSEILLÉ DANS CERTAINS CAS D'ENVOYER DE LA LUMIÈRE VERS LE CIEL. Dans cette même logique, l'arrêté inscrit la notion de lumière intrusive. La lumière urbaine ne doit pas gêner les habitations privées.



↳ Luminosité ne respectant pas les prescriptions de l'arrêté → Bonne luminosité

Exemple un lampadaire en agglomération devra désormais éclairer vers le bas. S'il y a d'autres lampadaires à côté, l'ensemble de la lumière produite par ces luminaires ne devra pas dépasser une certaine densité surfacique de flux lumineux en agglomération. La réglementation impose une densité surfacique de 35 lumens par mètre carré, équivalent à une intensité lumineuse permettant de circuler dans la rue de nuit sans difficulté.

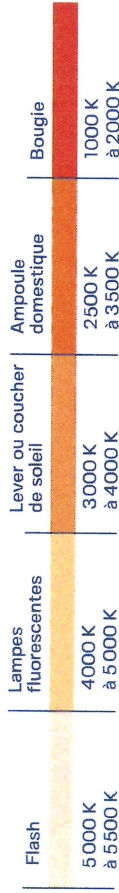
2. L'ARRÊTÉ FIXE ÉGALEMENT DES SEUILS DE TEMPÉRATURES DE COULEUR À RESPECTER :

ils ne devront pas dépasser 3000 K (kelvin) sauf dans certaines zones protégées (parcs naturels, réserves, sites d'astronomie) où les contraintes sont plus élevées. La température de couleur dans les parcs naturels régionaux et les parcs naturels marins ne devra pas excéder 2700 K en agglomération et 2400 K hors agglomération. Pour les chantiers sur des sites d'astronomie, le seuil ne devra pas dépasser 3000 K.

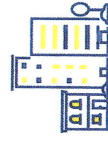
Repère

La couleur de lumière est indiquée en Kelvin (K): Plus le nombre de degrés en Kelvin est bas, plus la couleur de lumière est chaude. Par exemple :

- ▶ 2700 K correspond à de la lumière blanche très chaude (environnements domestiques) ;
- ▶ 3000 K correspond à de la lumière blanche chaude (bureaux) ;
- ▶ 4500 K correspond à la lumière froide, comparable à la lumière du jour.



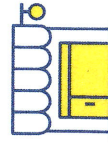
Les plages horaires de l'arrêté 2013 toujours en vigueur



Éclairages (intérieurs ou extérieurs) des **BÂTIMENTS NON RÉSIDENTIELS** **
Allumage : 7 h du matin ou 1 h avant le début de l'activité
Extinction : 1 h après la fin de l'occupation des locaux



Extinction des **FAÇADES** des bâtiments à 1 heure du matin au plus tard



Allumage des éclairages des **VITRINES DE MAGASINS** à partir de 7 h ou 1 h avant le début de l'activité. Extinction à 1 h du matin ou 1 h après la fin de l'occupation des locaux

** Bâtiments non résidentiels : bâtiments accueillant des activités diverses non résidentielles, éclairant vers l'extérieur. Sont également concernées les illuminations de ces bâtiments.