

GUIDE
AFE - SBA

afe
Association française de l'éclairage

SBA
SMART BUILDINGS ALLIANCE
FOR SMART CITIES

LA RÉNOVATION
DE L'ÉCLAIRAGE

LA RÉVOLUTION
LED





REMERCIEMENTS

La Commission Smart Lighting

La Commission Smart Lighting est issue de la rencontre de deux associations : la Smart Buildings Alliance – SBA et l'Association Française de l'Éclairage – AFE qui ont abouti à un contrat commun sur le rôle spécial de l'éclairage dans la mutation digitale et environnementale de nos espaces de vie.



Tout au long de l'année 2019 plus de 80 membres actifs provenant d'horizons aussi divers que variés (fabricants, intégrateurs, bureaux d'études, architectes, concepteurs, utilisateurs finaux, chercheurs, universitaires) ont contribué à mettre en forme et structurer nos nombreux échanges riches et passionnés.

Ces échanges sont formalisés par trois ouvrages AFE, dans la même collection :

- IoT et Digital
- HCL, confort visuel et qualité des ambiances lumineuses
- La révolution LED

Ces ouvrages sont téléchargeables librement sur le site Internet de l'AFE :

<http://www.afe-eclairage.fr/guides-et-recommandations/guides-afe-sba---la-renovation-de-l-eclairage-82.html>

Ainsi qu'un document synthétique, dans la collection « Théma » de la SBA, disponible sous format électronique : <https://www.smartbuildingsalliance.org/ressources/publications-sba>

Ces guides n'auraient pu voir le jour sans la contribution des membres de la commission, nous remercions particulièrement :

Comité de pilotage

Charles Chirey - Enlighted | Jacques Darmon - Lux Éditions | Véronique Gerval - Tridonic | Jérôme Lutz - Trilux | Laurent Meunier - Citelum | Catherine Rambaud - Arcom / Citylone

Contributions remarquables

Christine Arzano-Daurelle - EDF | Kevin Bertin - Université de Toulouse | Laurent Canale - CNRS / Université de Toulouse | Sophie Camelio - École Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Poitiers | Didier Chapron - BETOM | Jean Jacques Ezrati | Cyril Fernbach - Sermes | Patrick Govindaraju - AXIANS | Nicolas Houel - CNRS & Nantes Métropole | Philippe Hunault - SERCE | Guillaume Ruffin - ARTELIA | Sébastien Sarrazin - EDF | Pascal Tigreat - WAGO | Stéphane Vasse - Zumtobel | Paul Verny - CEREMA

Direction de la publication : Marie-Pierre ALEXANDRE

Direction éditoriale : François DARSY

Photo page de couverture et gabarit : © Interact Office Deloitte Milan case study HR



■ SOMMAIRE

P.6



INTRODUCTION

P.6



LA RÉVOLUTION LED

- Mise en perspective de la transition LED et gains attendus
- Etat des lieux sur la transition LED
- Nouveaux modèles économiques : CPE, Leasing, Light as a Service, etc...
- Prise en compte des externalités environnementales dans la transition LED

INTRODUCTION

La révolution technologique de la LED est une opportunité unique d'accélérer significativement la transition digitale et environnementale de notre parc immobilier, de nos espaces urbains et de tous nos espaces de vie en général.

La rénovation de l'éclairage est l'occasion de plusieurs mutations simultanées :

- **La rénovation de l'éclairage se paye sur les économies d'énergie**, elle permet l'émergence de nouveaux modèles économiques comme l'économie de la fonctionnalité, Lighting as a Service...

- **L'éclairage est une infrastructure, dense, universelle et stable : elle permet de digitaliser les espaces** en déployant des technologies : capteurs, IoT, Lifi... qui permettent de nouveaux et de meilleurs usages de nos espaces.
- **Enfin, l'éclairage influence notre expérience et notre bien-être.** Il a un profond impact physiologique et psychologique sur les humains. En rénover les éclairages de nos espaces de vie, nous pouvons les rendre plus attractifs, plus agréables et tout en répondant à nos besoins de vision.

LA RÉVOLUTION LED

L'émergence de La LED permet de réduire drastiquement les consommations spécifiques liées à l'éclairage. Cela ouvre de nouveaux business modèles et de nouvelles opportunités.

1 ■ MISE EN PERSPECTIVE DE LA TRANSITION LED AVEC LES GAINS ATTENDUS

1.1 Une transition technologique majeure

La technologie de la LED a bouleversé le domaine de l'éclairage. Marché de consommables basé sur des « ampoules » à jeter/changer à intervalles réguliers en 2009, l'éclairage est devenu en 2019 un marché de produits d'investissement plus durables et plus sobres. Cette révolution technologique offre des gains sur la maintenance et la consommation d'énergie liées à l'éclairage. Elle a un impact unique sur notre consommation d'énergie primaire :

- En 2006, avant la transition du marché de l'éclairage, 20 % de l'électricité produite dans le monde était utilisée pour l'éclairage.
- En 2018, l'éclairage ne représente plus que 15 % de la consommation d'électricité.
- En 2030 lorsque la transition LED sera achevée, l'éclairage ne représentera plus que 8 % de la consommation électrique globale (malgré une augmentation prévue de 35% du nombre de points lumineux, due à l'urbanisation mondiale !).

Cet impact est double : environnemental et financier :

- Aspect environnemental : la grande durée de vie des produits, la réduction des puissances, la prise

en compte, dès la conception, de la recyclabilité des composants des luminaires, des normes et une réglementation en faveur de la biodiversité sont autant de facteurs qui permettent d'avancer vers un éclairage responsable.

- Le développement (autour des LED) de l'électronique et de la conception des luminaires permet de réduire de façon conséquente les coûts de maintenance et d'exploitation de l'éclairage, au point de disposer dans certains cas de retours sur investissement inférieurs à 2 ans. Certains maîtres d'ouvrage utilisent ces économies pour financer la rénovation de leur éclairage.

La rénovation de l'éclairage est une opportunité pour accélérer la transition d'un parc immobilier et des espaces urbains. Elle permet à la collectivité de revaloriser son patrimoine avec un investissement responsable qui prend en considération le confort des usagers et l'attractivité de la ville.

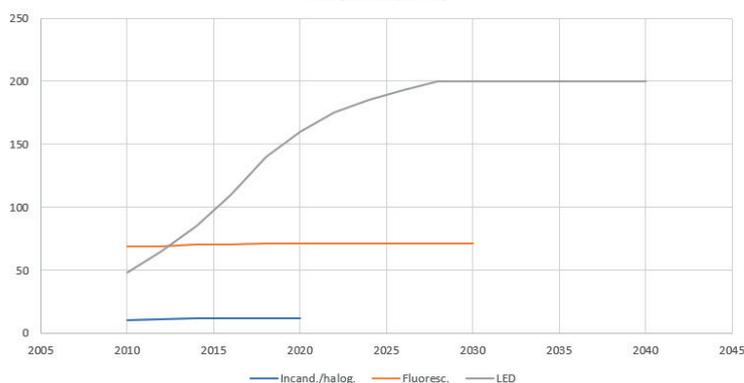
1.2 Maturité de la technologie

En 2019, 97 % du marché sur des installations neuves sont en LED. La majorité des applications est réalisée avec des produits LED de 3^{ème} génération. Cette industrie bénéficie d'un retour d'expérience technologique de plus de 10 ans.

La performance des LED continue d'évoluer, mais de façon moins spectaculaire.

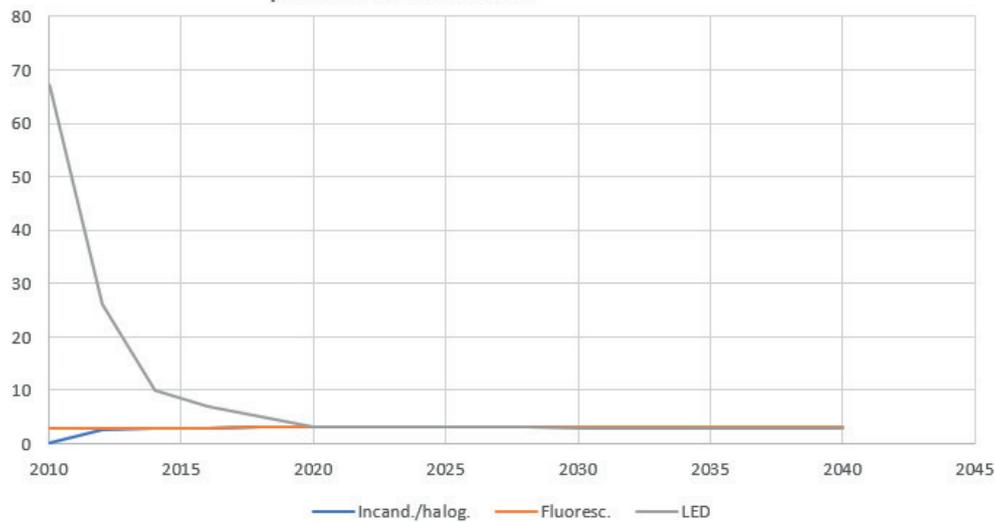
La majorité des gains économiques a été atteinte en 2020 et le surcoût d'investissement d'une solution LED est négligeable par rapport aux technologies antérieures.

Evolution de l'efficacité lumineuse moyenne (lm/w)



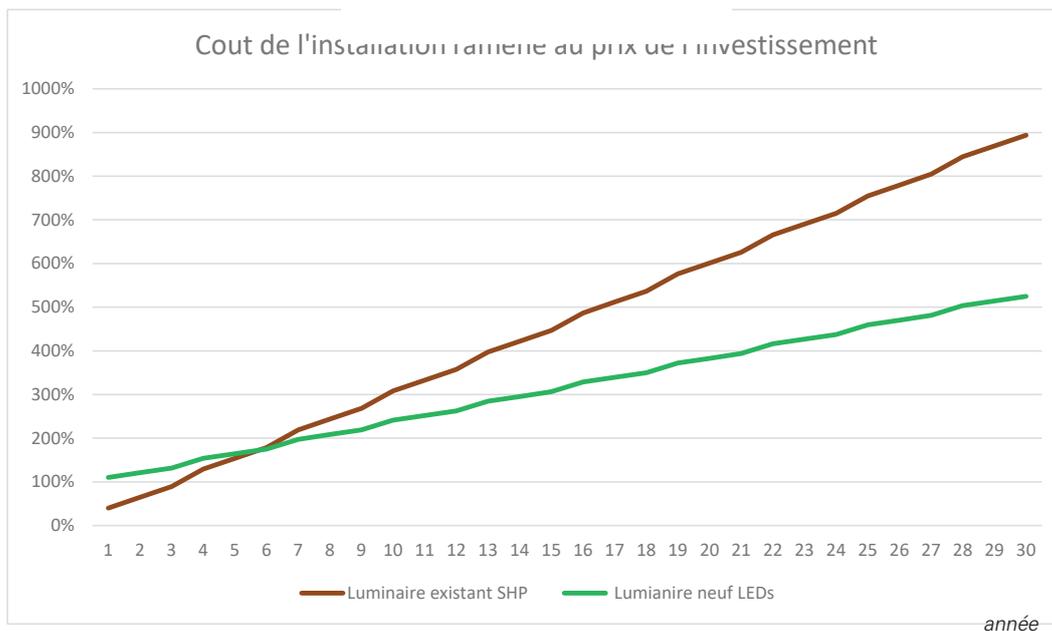
Source : US Energy Information Administration, Annual energy Outlook 2014 <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=15471>

Coût relatif (\$/lm) des technologies par source lumineuse



Source : US Energy Information Administration, Annual energy Outlook 2014 <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=15471>

Les performances techniques continuent d'évoluer et viendront renforcer l'efficacité énergétique et la bonne tenue des produits dans le temps.



La courbe ci-dessus présente les coûts d'exploitation d'un luminaire existant (rouge) et ceux d'un luminaire neuf équipé de LED (vert) auquel ont été ajoutés les prix de la fourniture et de la pose.

Dès la 7^{ème} année, la fourniture et la pose d'un luminaire neuf sont amorties par les gains réalisés en exploitation et en maintenance.

En fin de vie, la fourniture et pose du luminaire aura été amorties 3 fois.

Retarder l'investissement afin de bénéficier d'une meilleure efficacité énergétique peut apporter des gains additionnels, mais ceux-ci seront moins importants que les dépenses liées à l'exploitation et la maintenance du vieux luminaire sur la même période ; ce qui est perdu ne se rattrape pas !

1.3 Mise en oeuvre : Luminaire LED ou source LED ?

Il existe des solutions de rétrofit permettant d'adapter des sources LED dans des luminaires existants.

Certains fabricants proposent des sources LED en remplacement des sources existantes :

1. Des tubes LED à la place de tubes fluorescents, avec la possibilité soit de conserver l'appareillage existant sans modification interne du luminaire, soit de déconnecter l'appareillage existant et d'alimenter le tube en 230 V. La 2^{ème} solution est pertinente en termes d'économies d'énergie
2. Des lampes LED en substitution de lampes à décharge de type SHP, vapeur de mercure ou iodure métallique. A ce jour, cette solution, qui peut séduire pour son coût apparent de mise en œuvre plus faible, est souvent la moins durable.

De même, des fabricants proposent des solutions de mise en place de moteurs ou blocs LED en substitution des platines existantes. Ces solutions, qui permettent de maintenir des enveloppes considérées comme viables, sont à étudier au cas par cas selon les critères suivants :

1. Performances du luminaire,
2. Maîtrise de la dissipation thermique en lien avec l'enveloppe existante,
3. Coût incitatif par rapport à un remplacement du luminaire complet.

Consulter également le Point de vue de l'AFE sur les LED de substitution [en cliquant ici](http://www.afe-eclairage.fr/docs/2015/12/15/12-15-15-8-38-Point_vue_AFE_LED_de_substitution_eclairage_public.pdf)
[\(\[http://www.afe-eclairage.fr/docs/2015/12/15/12-15-15-8-38-Point_vue_AFE_LED_de_substitution_eclairage_public.pdf\]\(http://www.afe-eclairage.fr/docs/2015/12/15/12-15-15-8-38-Point_vue_AFE_LED_de_substitution_eclairage_public.pdf\)\)](http://www.afe-eclairage.fr/docs/2015/12/15/12-15-15-8-38-Point_vue_AFE_LED_de_substitution_eclairage_public.pdf)

1.4 Pilotage, automatisation, télégestion

La technologie LED, par essence électronique, se prête parfaitement au pilotage, à l'automatisation des tâches. De plus, elle permet des finesses de pilotage qui n'étaient pas possible avec les anciennes sources telles que l'allumage et l'extinction instantanés sans effets trop marqués sur la durée de vie de l'équipement.

- Traduction d'un usage

L'utilisation des LED comme source lumineuse permet non seulement de faire des économies d'énergie mais aussi de piloter les installations efficacement.

L'intégration de nouveaux capteurs ou systèmes, contribue à collecter ou transmettre de l'information et à mettre à disposition de nouveaux services (voir livre blanc AFE / SBA « IOT & Digital »). De plus, l'usage de capteurs de détection de présence (en intérieur et en extérieur), et de capteurs d'intensité lumineuse par exemple, permet d'adapter au plus juste les consommations, d'autant plus s'ils sont couplés à des automatismes de type horloges (astronomiques pour l'éclairage extérieur ou programmables).

Ces modes de fonctionnement (capteurs de présence et de luminosité) adossés à un système de gestion global (appelé communément télégestion en particulier en éclairage urbain) permettent de configurer des ensembles de points lumineux (par groupe ou individuellement) et de récupérer leurs données (état, consommation, dysfonctionnement). La communication devient bidirectionnelle.

- Intérieur / Extérieur

Les principes de gestion sont assez similaires mais les fonctionnalités peuvent être différentes.

Là où l'éclairage extérieur est d'abord synonyme de sécurité et ensuite de confort, c'est cette deuxième notion qui prime en éclairage intérieur. La gestion de systèmes d'éclairage intérieur peut être, en outre, associée à celle du chauffage, de la climatisation, des occultations des surfaces vitrées et ainsi participer à une optimisation énergétique globale.

En éclairage extérieur, les systèmes de pilotage et de télégestion contribuent à améliorer la sécurité, le confort des usagers ainsi que la mise en valeur du patrimoine. Ces technologies accompagnent la LED pour accentuer la réduction des nuisances lumineuses et plus généralement une meilleure préservation de la planète tout en favorisant le développement économique de la cité.

- Agrégation d'autres services (interopérabilité)

L'évolution technologique et numérique dans tous les secteurs est très rapide et les objets connectés envahissent notre quotidien personnel et professionnel. L'éclairage LED, équipé d'une technologie électronique intelligente, se prête à cette interconnexion.

2 ■ ETAT DES LIEUX SUR LA TRANSITION LED

Depuis 10 ans, les progrès se confirment en termes de photométrie, d'efficacité énergétique, de durée de vie et de tenue du flux dans le temps.

- L'appareillage électronique a évolué avec la technologie LED. A l'aide d'un protocole de communication, il permet d'optimiser les économies d'énergie sans nuire au service rendu ;
- Des capteurs de présence, associés aux LED, ouvrent les portes à de nouveaux services, y compris à des économies d'énergie (et de CO₂) supplémentaires.
- Enfin, la durée de vie des composants de la technologie LED permet une réduction des coûts de maintenance et un meilleur engagement dans la préservation de la planète (matières premières, énergie, etc.). Le prix des luminaires a fortement diminué pour atteindre des niveaux de prix inférieurs à ceux des luminaires équipés de lampes sodium haute pression.

A l'avenir, l'efficacité des LED va continuer à progresser d'environ 20 % et les prix devraient se stabiliser (voir graphiques ci-avant). Les investissements réalisés à ce jour permettront de réaliser des économies d'énergie importantes avec des durées d'amortissement courtes et une meilleure préservation de la planète (moins de CO₂). Tout retard aura un impact sur la trace carbone dans la mesure où ce qui est consommé ne se récupère pas.

3 ■ NOUVEAUX MODÈLES ÉCONOMIQUES : CPE, LEASING, LIGHT AS A SERVICE, ETC...

3.1 La rénovation de l'éclairage se paye toute seule. C'est une opportunité financière

La rénovation de l'éclairage est génératrice d'économies d'énergie et de maintenance. La durée de vie maîtrisée et la bonne tenue du flux dans le temps en font un investissement rentable rapidement avec, à la clé, des économies immédiates sur les frais de fonctionnement.

Exemple de rénovation d'un bâtiment

Prenons l'exemple d'un entrepôt logistique de 60 000 m² typiquement allumé 24/7 et éclairé par des armatures industrielles équipées de lampes au sodium de 400 W.

Le remplacement unitaire des appareils par des luminaires équipés de détecteurs de présence et de détecteurs de luminosité permet d'économiser au moins 80 % de l'électricité consommée annuellement :

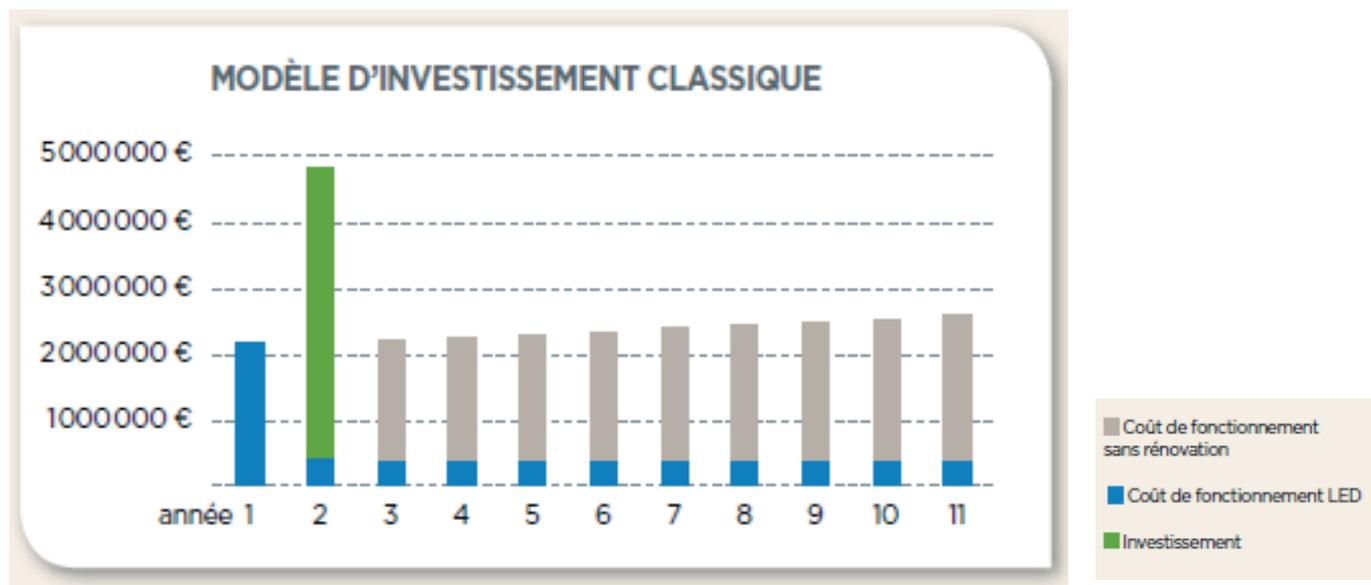
| | | Installation d'origine Sodium | Solution LED |
|---|------------|--|---|
| | |  |  |
| Nombre d'appareils | PCS | 600 | 600 |
| Puissance installée par appareil | W | 440 | 170 |
| Nombre d'heures de fonctionnement | h/an | 8400 | 8400 |
| Systèmes de pilotage (détection de présence et asservissement à la lumière du jour) | % | 100% | 50% |
| Energie consommée annuellement | MWh | 2217.6 | 428.4 |
| Economies d'énergie | | | 81% |

Avec la nouvelle installation, les coûts de maintenance sur 10 ans peuvent être réduits grâce à la mise en œuvre de produits LED de qualité.

Pour couvrir le risque lié à une défaillance éventuelle du produit, il est recommandé de souscrire une garantie ou un contrat de services qui correspond à la durée de vie opérationnelle du produit. Le luminaire LED n'est pas un consommable jetable, il est important d'avoir un engagement fort du fournisseur sur la durée.

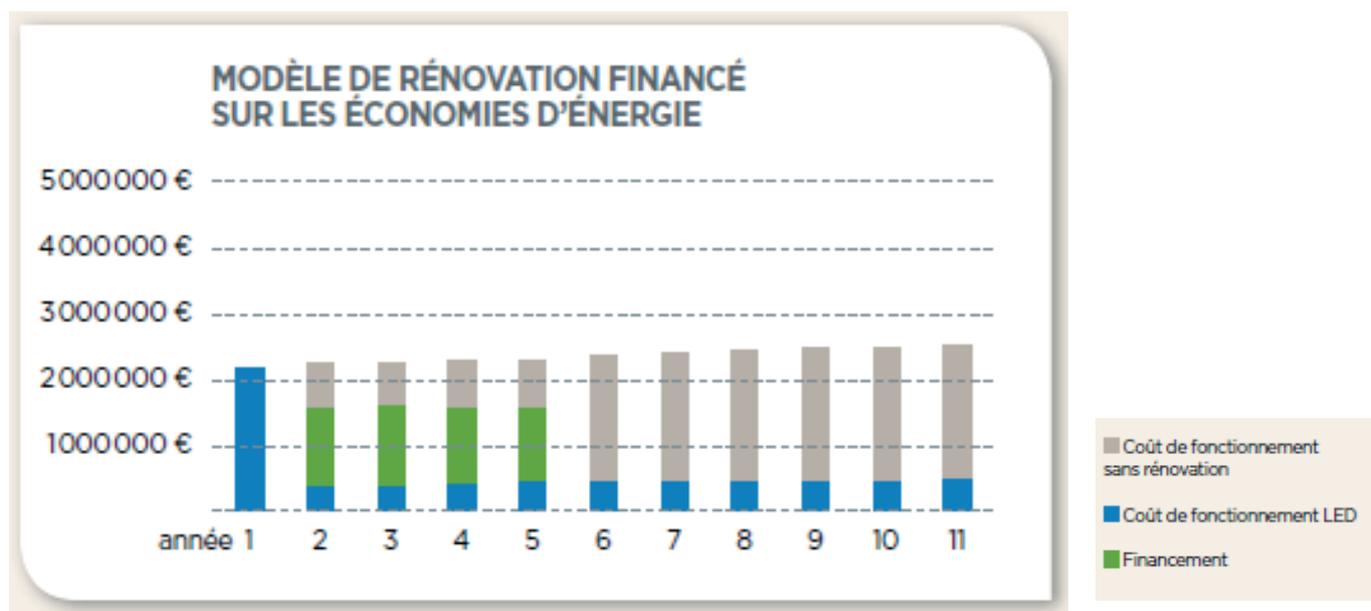
L'exploitant du bâtiment peut alors aborder la rénovation de 2 façons.

1. Utiliser sa trésorerie et bénéficier rapidement de ces économies :



2. Faire financer cet investissement sur les économies d'énergie pour préserver sa trésorerie. Ce modèle permet même de dégager un flux de trésorerie positif.

La rénovation de l'éclairage ne coûte rien, elle rapporte de l'argent !



3.2 Les modèles de financement

Nouveaux modèles économiques pour les marchés privés

Il existe plusieurs modèles économiques et fiscaux possibles pour financer les travaux :

| | Trésorerie / financement sur fond propres | Crédit bancaire | Location / Leasing |
|--|---|-----------------------------------|--------------------|
| Qui est le propriétaire pendant le contrat ? | Client final | Client final | Banque |
| Avantages de ce mode de financement ? | Pas de frais | Pas de consommation de trésorerie | Mensualités |
| Inconvénients de ce mode de financement ? | Dettes au bilan | Frais | Frais |
| Quel est le traitement comptable ? | Passif (bilan) | Passif (bilan) | Charge |
| Quelle est l'incidence fiscale ? | Impôts en hausse | Impôts en hausse | Impôts en baisse |

Source : Experene, 2019

Nouveaux modèles économiques pour les marchés publics

La réalisation de travaux de rénovation ou de travaux neufs en éclairage public peut s'effectuer selon plusieurs techniques d'achat définies dans le code de la commande public (CCP).

Les marchés classiques de travaux à tranche ou par accord cadre sont un bon moyen de rénover un parc d'éclairage. L'avantage de ces solutions est la rapidité de mise en œuvre. Des résultats très concrets ont pu être constatés sur ce modèle ces dernières années. Néanmoins, le maître d'ouvrage public peut difficilement, dans un même marché, lier les études, les travaux, la maintenance et l'exploitation qui sont garants de la performance d'une installation.

L'arrivée de la LED, avec un besoin de pilotage ainsi que de nouveaux services (utilisation des mâts d'éclairage pour d'autres usages, vidéo, capteurs IoT, etc.), tend à mettre en avant d'autres formes de marchés qui justement englobent la maintenance et l'exploitation de ces nouveaux équipements : le marché globaux (dits de performances ou de partenariat).

▪ **Marché global de performances.**

Le marché global de performances comprend des prestations de gestion énergétique, conception, réalisation, exploitation et maintenance réalisées par une même entreprise. Le titulaire devient donc responsable durant la durée du marché du maintien de la sécurité électrique et mécanique des installations.

Cet engagement global a un impact au niveau économique et technique :

- Les travaux étant conçus et réalisés par l'entreprise, elle prend toute la responsabilité sur la performance énergétique.
- Le titulaire optimise les prix de maintenance grâce à la qualité des matériels prévus lors de la rénovation.
- Concernant la partie exploitation, le taux de pannes est réduit grâce à la maîtrise des actions de maintenance et de rénovation (connaissance du matériel) par le titulaire.

- La qualité des travaux est garantie car l'entreprise est également en charge de l'exploitation et de la maintenance des installations, et s'engage sur le taux de pannes de ces dernières.
- Le marché permet d'inclure à l'intérieur du volume de rénovation des nouveaux services annexes avec maintenance et exploitation associées susceptibles, à terme, de dégager des recettes annexes pour les collectivités.

▪ **Marché de partenariat**

En matière technique, on peut considérer que les prestations à charge du titulaire sont globalement similaires à celles du marché global de performances. Les principales différences sont les suivantes :

- Le titulaire du marché de partenariat est maître d'ouvrage et maître d'œuvre, cependant :

Le décideur reste la collectivité.

Les ouvrages reconstruits sont remis en pleine propriété à la collectivité dès leur acceptation.

- Le financement des travaux est apporté (en tout ou partie) par le titulaire

- Le recours au marché de partenariat est défini par le Code de la Commande Publique et nécessite des étapes de validation par les autorités compétentes (évaluation préalable, étude de soutenabilité budgétaire).

Cette forme de marché a des avantages quant au portage de responsabilité entre les acteurs (gestion des réseaux existants par exemple pendant la phase travaux) et à la portabilité du montage financier complexe qui repose en grande partie sur le titulaire.

D'autres formes contractuelles comme les marchés de fournitures ou de services peuvent être envisagés avec notamment la possibilité, pour des fournisseurs, de proposer du matériel en location avec option d'achat. Un service de maintenance est alors inclus.

Modalités de financement de projets de rénovation de l'éclairage public, financements possibles :

1. Subventions publiques :
 - Aides de l'ADEME (phase étude et évaluation),
 - Fonds spécifiques au territoire,
 - Fonds FEDER (axés sur l'amélioration de la performance énergétique),
 - Subventions des AODE (Territoires d'énergie)
2. Certificats d'économies d'énergie : CEE, CEE TEPCV (Territoires à Energie Positive)
3. Financements par des banques d'investissement ayant des programmes basés sur l'innovation ou les économies d'énergie
 - Banques européennes d'investissement, BPI, AFD
4. Financements privés :
 - Banques européennes d'investissement, banques privées dans le cadre d'un marché de partenariat
 - Crowdfunding (part limitée de l'investissement)
Exemple : <https://www.lendopolis.com/project/renovation-eclairage-public>
5. Recettes annexes dans le cadre du smart lighting
 - Equipements annexes mis en place sur des mâts d'éclairage (5G, video, autres services, etc.)

4 ■ PRISE EN COMPTE DES EXTERNALITÉS ENVIRONNEMENTALES DANS LA TRANSITION LED

- Effets de l'éclairage artificiel sur la biodiversité
- Risques sanitaires liés à l'emploi de la technologie LED
- Impact environnemental de l'éclairage à travers l'analyse du cycle de vie
- Economie circulaire

4.1 Effets de l'éclairage artificiel sur la biodiversité

Selon la littérature scientifique, les effets de la lumière la nuit sur la faune, la flore et les écosystèmes, sont avérés pour toutes les espèces étudiées.

Contexte du déploiement des LED et réglementation

La conversion quasi systématique depuis quelques années du parc d'éclairage vers les LED, motivée par des économies d'énergie, interroge fortement la communauté scientifique quant aux impacts sur la biodiversité alors même que les avantages d'une gestion de l'éclairage facilitée par la technologie LED sont indéniables. Une vigilance est également attendue sur la multiplication des sources lumineuses rendue possible par les économies d'énergie précitées.

Concernant l'environnement et la biodiversité, bien qu'il soit difficile d'évaluer l'impact sanitaire et environnemental global de la transition des technologies d'éclairage existantes vers les LED, les autorités recommandent de renforcer la prévention de la pollution lumineuse pour éclairer de la plus juste façon.

La réglementation française va dans ce sens. L'arrêté du 27 décembre 2018 définit des règles visant à réduire l'impact des nuisances lumineuses sur la faune, sur la flore, sur les riverains et dans le cadre de l'observation du ciel nocturne. Il détermine des règles techniques et de temporalité, applicables en agglomération et hors agglomération ainsi que dans les zones protégées. Ces règles constituent une étape supplémentaire pour **éclairer juste**.

Interrogations et perspectives liées aux LED

Les LED blanches installées en éclairage extérieur comportent une proportion de bleu du fait de leur conception. Pour limiter les impacts des lumières froides, l'arrêté du 27 décembre 2018 interdit sur l'espace public, dans la plupart des cas, l'utilisation de températures de couleurs supérieures à 3 000 K.

Certains fabricants proposent maintenant, pour certaines applications, des LED produisant une lumière à spectre étroit décalé vers le rouge (température de couleur d'environ 1 700 K), qui pourraient représenter un bon compromis entre économie d'énergie et biodiversité (LED dites « Batfriendly » de couleur ambre : 592-594 nm).



Source : Philips ClearField LED light

De par leur très grande modularité, les LED apportent des perspectives nouvelles et intéressantes notamment en termes de pilotage électronique de l'éclairage progressif, transition ou immédiateté des phases d'allumage ou d'extinction, couplage avec détecteurs de présence ou des minuteries, cohérence du pilotage en réseau, graduation fine du flux, gestion optimisée des zones éclairées, des températures de couleurs, etc.

Impacts sur la faune

La biodiversité nocturne, moins bien connue des scientifiques, car plus difficile à étudier, fait l'objet d'une attention croissante des chercheurs et des pouvoirs publics.

- Chez les mammifères, ce sont les chiroptères qui sont les plus impactés par la lumière artificielle. Alors que certaines chauves-souris comme le Petit ou le Grand Rhinolophe fuient les sources lumineuses, d'autres comme la Pipistrelle, savent s'adapter à la présence des zones éclairées et ont su en faire un avantage, venant capturer les proies qui s'accumulent autour des lampadaires. Globalement, l'éclairage fragmente les habitats nécessaires aux cycles de vie des chiroptères, réduit leur activité et déséquilibre les rapports de force et la concurrence pour les ressources entre espèces.
- La présence de lumière se révèle fortement perturbante pour les différentes espèces qui composent l'avifaune. En effet, les étoiles et la lune constituent les sources de lumière naturelle grâce auxquelles les oiseaux parviennent à s'orienter.
- Les reptiles, qu'il s'agisse d'espèces diurnes ou nocturnes, ont su tirer bénéfice de l'éclairage nocturne, et tout particulièrement pour les espèces se nourrissant d'invertébrés. En effet, en s'approchant des sources de lumière, les espèces nocturnes bénéficient d'une plus forte concentration de proies, tandis que les espèces diurnes peuvent étendre leur activité en première partie de nuit.
- Les amphibiens sont particulièrement sensibles aux intensités lumineuses et à leur fluctuation. 90 % des espèces d'amphibiens sont totalement ou partiellement nocturnes. De ce fait, les individus chassent durant la nuit mais sont également exposés à d'autres espèces de prédateurs nocturnes.
- Concernant les insectes, une étude menée par Eisenbis et Hassel (2000) a estimé à environ 150 le nombre d'insectes tués par lampadaire et par nuit d'été, ce qui représente plus d'un milliard d'insectes tués par nuit sur les 6,8 millions de réverbères présents en Allemagne.

Même si des différences existent au sein de chaque groupe d'espèces, quelques grandes perturbations communes ressortent.

Globalement, la pollution lumineuse impacte les rythmes biologiques, induisant des conséquences physiologiques et comportementales (migrations, reproduction, chasse...).

Les changements brutaux de luminosité provoquent des effets d'éblouissement, augmentant les risques de collision et la vulnérabilité face aux prédateurs.

De nombreuses espèces ont développé une phototaxie négative, fuyant par prudence les zones lumineuses, tandis que d'autres, à l'inverse, ont développé une phototaxie positive, exploitant l'abondance de proies dans les zones lumineuses.

En conséquence, les nuisances lumineuses peuvent désorganiser la chaîne trophique et les compétitions inter et intra-espèces.

Trames vertes, bleues et noires

De plus en plus de collectivités développent au cœur de leurs territoires des trames noires, vertes ou bleues pour favoriser le déplacement de la faune et le développement de la flore locale. La LED peut favoriser la mise en place de ces espaces protégés, grâce à sa capacité à pouvoir s'éteindre et s'allumer dans des temps très courts. Toutefois, afin de mesurer l'impact des actions menées par les collectivités et encourager le développement de ces trames, des outils sont nécessaires pour qualifier les gains sur la faune et sur la flore locale.

Conclusion

La problématique liée à la biodiversité est importante sur chaque projet. Son traitement consiste à adapter les solutions offertes par les technologies d'aujourd'hui, aux contraintes réglementaires et environnementales pour éclairer juste. Il n'existe pas de solution unique, chaque projet est un cas en soit plus ou moins complexe.

Pour en savoir plus, consultez les fiches rédigées par l'AFE et le Museum national d'Histoire naturelle (UMS Patrimoine naturel AFB-CNRS-MNHN) en cliquant sur les titres :

- [Pollution lumineuse et biodiversité : des enjeux scientifiques à la trame noire \(1/2\)](#)
- [Solutions pour la réduction des nuisances lumineuses et la protection de la biodiversité \(2/2\)](#)

4.2 Risques sanitaires liés à l'emploi de la technologie LED

Si 66 % de la population connaît l'existence de la lumière bleue, moins de 50 % reconnaissent qu'elle a des effets sur le sommeil (*Baromètre de la santé visuelle AsnaV - OpinionWay - 2017*). Le 26 mars 2019, à la demande de l'Association française de l'éclairage (AFE), plusieurs chercheurs, travaillant sur la lumière bleue, se sont réunis à Paris. A l'ordre du jour une synthèse des dernières connaissances des effets de la lumière bleue sur l'Homme et la réalité des enjeux sanitaires.

Aux côtés de Christophe Orssaud, ophtalmologiste et président du Collège Santé de l'AFE, des chercheurs de l'INSERM et du CSTB, des représentants de l'Association nationale pour l'amélioration de la Vue (AsnaV) ont présenté les derniers résultats disponibles d'études sur les effets visuels et non visuels de la lumière bleue. Alors que les effets de la lumière bleue sur le cycle du sommeil sont pointés par tous, et que les effets sur les photorécepteurs d'un éclairage aigu dans le spectre du bleu sont connus, l'ensemble des présentations tend à prouver qu'à l'heure actuelle, il n'est pas possible de déterminer si la lumière bleue constitue un risque pour l'œil humain dans des conditions normales de vie quotidienne, ni même, si cela était le cas, de déterminer le seuil à partir duquel l'exposition déclenche un processus oxydant.

D'autres facteurs modulant l'impact de la lumière bleue nécessitent d'être étudiés, notamment le ratio lumière bleue/lumière rouge qui varie dans les différentes sources lumineuses et la chronobiologie de la rétine. La CIE (Commission Internationale de l'Eclairage), dont le membre français est l'AFE, a publié un avis sur l'état des connaissances et les résultats des études sur les effets de la lumière bleue. Elle rappelle notamment que les limites d'exposition au danger aigu de la lumière bleue ne sont pas dépassées dans les conditions normales d'usage et que de nombreuses études publiées ont utilisé des conditions expérimentales peu usuelles et ne correspondant pas à la vie courante ([Avis de la CIE sur les dangers sur la lumière bleue - mars 2019](#)).

L'ensemble des intervenants s'accordent sur trois principes de base :

- Un couvre-feu digital : pas d'écrans au moins une heure avant d'aller dormir,
- Une obscurité totale pour dormir (sans témoins lumineux ni veilleuses),
- La durée d'exposition à la lumière naturelle est un facteur important permettant de limiter les impacts de l'exposition aux écrans le soir.

L'AFE rappelle quelques règles d'hygiène lumineuse :

- Pas d'écrans avant 3 ans et pas plus d'une heure par jour avant 12 ans, les yeux des enfants n'étant pas capables de protéger l'œil comme chez les adultes,
- S'exposer au moins une heure à la lumière naturelle tous les jours,

- Porter des lunettes de soleil par beau temps, la plus grande source de lumière bleue demeurant le soleil
- Ne pas regarder d'écrans dans le noir,
- Toutes les 20 minutes, lever les yeux des écrans pendant 20 secondes et fixer un point à 6 mètres,
- Ne pas regarder directement les sources lumineuses et ne pas s'en approcher à moins de 30 cm.

« Les conférences de l'AFE sur la lumière bleue montrent, au fil des années, une évolution constante des connaissances scientifiques et médicales. En informant sur les bonnes pratiques issues des résultats des études sur les effets de la lumière sur l'Homme et son environnement, l'AFE contribue à définir des règles d'hygiène lumineuse utilisables par tous. » - Cédric Lewandowski, Président de l'AFE. (Communiqué de l'AFE - 29 mars 2019)

Voir également la Communication AFE sur le rapport de l'ANSES. Juin 2019 avec le lien hypertexte http://afe-eclairage.fr/docs/2019/06/04/06-04-19-2-02-F_communication_AFE_rapport_ANSES_LED_2019_juin.pdf

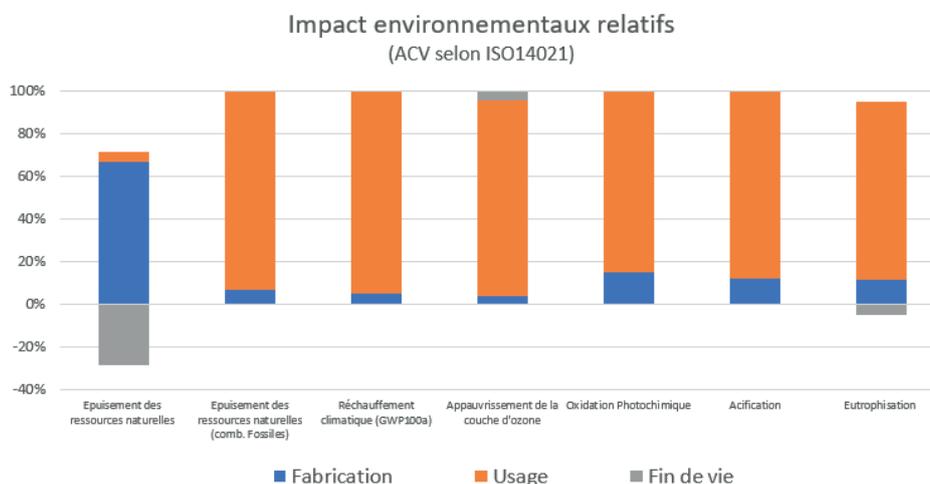
4.3 Impact environnemental de l'éclairage à travers l'analyse du cycle de vie

L'impact environnemental d'un produit d'éclairage doit être considéré sur la totalité de son cycle de vie, depuis sa fabrication, jusqu'à son démantèlement en incluant sa phase d'usage. Il prend en considération :

- L'utilisation des matières premières pour la fabrication des produits et des pièces de rechange.
- L'énergie nécessaire à la fabrication, à la livraison des matières premières et du produit fini, à l'utilisation du luminaire et à son démantèlement.
- L'usage des déchets en fin de vie.

Ce processus d'analyse est appelé ACV, analyse du cycle de vie, et est décrit par des normes (ex. : ISO 14021). L'analyse d'un produit type, par exemple un luminaire étanche de parking, montre que sur la quasi-totalité des critères (hors épuisement des ressources naturelles), la phase d'usage du produit est celle avec le plus gros impact, et de très loin !

Un point lumineux consomme surtout de l'énergie tout au long de sa vie.



Source : Philips Pacific LED

L'augmentation spectaculaire des durées de vie permises par la LED accentue ce phénomène.

Pour réduire l'impact environnemental global d'un produit d'éclairage, il convient d'optimiser la phase d'usage :

- Minimiser la consommation électrique (efficacité énergétique, lm/W, élevée)
- Ne pas suréclairer et n'éclairer que lorsque cela est nécessaire, là où c'est nécessaire.

Pour minimiser l'épuisement des ressources naturelles, il est nécessaire de travailler sur l'augmentation de la durée d'usage et anticiper le recyclage.

- Réparabilité : les composants doivent être interchangeables, et les assemblages démontables simplement (par exemple visser plutôt que coller)
- Éviter les obsolescences d'usage (produit évolutif dans son usage : optiques, driver, capteur, etc.)
- Eco-conception des produits : employer des matériaux faciles à recycler, des composants plus durables avec des taux de défaillance plus faibles.
- Recyclabilité : économiser les matières premières, réduire l'impact carbone lié à l'extraction et à l'acheminement de ces matières, améliorer l'impact social en développant l'emploi de proximité.

4.4 Economie Circulaire

Le modèle économique classique de production de richesses est dit linéaire. Il consiste à extraire des matières premières, les transformer successivement en matériaux puis en composant et enfin en produits qui sont vendus, utilisés puis jetés pour être détruits. Ce modèle considère la quantité de matières premières comme infinie et ne prend pas en compte la problématique des déchets.

Dans un modèle économique dit circulaire, on cherche à créer des boucles pour réinjecter la valeur résiduelle d'un produit dans la chaîne économique. De ce fait plus la boucle est courte, plus la valeur est préservée. Concrètement, d'un point de vue économique et environnemental il vaudra toujours mieux à maintenir un

produit pour maximiser sa durée d'usage plutôt que de le changer et de recycler ses composants ou sa matière première.

Le recyclage est la dernière des opérations à considérer, elle ne préserve qu'une infime partie de la valeur.

Comme on l'a vu dans le chapitre précédent, pour un produit d'éclairage, la réparabilité et l'évolutivité de son usage vont être prédominants dans sa capacité à s'inscrire dans un modèle d'économie circulaire. In fine, la capacité à faire évoluer un produit et la capacité à en extraire le maximum de valeur sont liées à deux paramètres : la connaissance fine du produit et la compréhension de la façon dont il a été utilisé depuis sa fabrication.

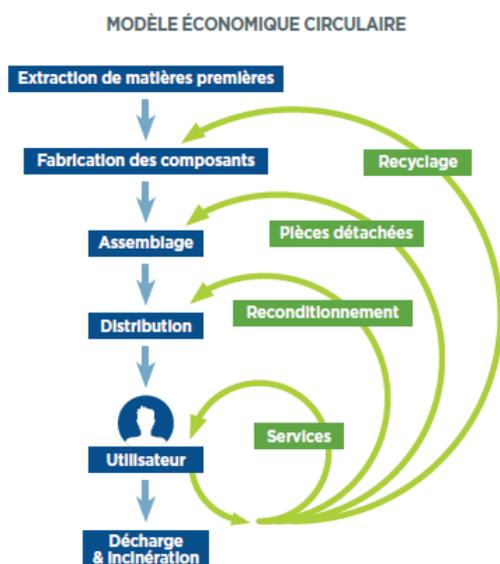
On voit donc un nouveau modèle économique apparaître, qui consiste à ne vendre que l'usage de la lumière. Pour le fournisseur, cela change l'approche produit : il ne cherche plus à proposer le produit le moins cher, mais celui qui coûtera le moins à exploiter sur la durée. Le client n'a plus à porter le risque lié à l'exploitation et l'obsolescence du produit, il n'achète qu'un service et un niveau de performance (lux, maintenance, consommations...).

Le suivi des conditions exactes d'usage durant la vie du produit va se révéler un atout majeur de la transition vers un achat à l'usage. Cette thématique est l'objet du Livre Blanc « IoT&Digital ».

4.5 Retour d'expériences, témoignages, cas concrets

La récente mise en lumière du Château de Chambord a été réalisée avec un double objectif : mettre en valeur le patrimoine et préserver l'environnement. L'éclairage doux de la façade a permis de minimiser la consommation énergétique (moins de 3 kW en pleine puissance pour 35 projecteurs sur les 4 façades) ainsi que l'impact carbone correspondant. Les projecteurs ont été orientés de façon à n'éclairer que les façades et des éléments de maçonnerie remarquables. De ce fait, la pollution du ciel nocturne a été réduite à moins de 4 % du flux émis par les sources. <https://www.chambord.org/500-ans/illumination-du-chateau-chambord/>

A Bussy Saint Georges (77), 1 200 luminaires résidentiels ont été rénovés en 2013. Cette opération a permis à la commune de réaliser une économie de 50 % sur la consommation énergétique tout en augmentant de 50 % l'éclairage de la voirie qui était insuffisant. D'un point de vue environnemental, en complément de la réduction de la trace carbone liée à la consommation d'énergie et à une optimisation de la maintenance, l'orientation du flux sur la surface à éclairer a eu un impact positif sur les nuisances lumineuses.



Source : Circular Lighting, Philips



Photo page de couverture et gabarit : © Xavier Boymond-citylone-2012_03-Lyon_Bellecour-03

Dans la même collection,

« Human Centric Lighting - HCL »

L'éclairage influence notre expérience et notre bien-être. Son profond impact physiologique et psychologique sur les humains est chaque jour démontré.

Aussi, en rénovant les éclairages de nos espaces de vie et de travail, nous pouvons les rendre plus confortables, plus attractifs et plus agréables tout en répondant au mieux à nos besoins sanitaires de bonne vision.

« IoT et digital »

L'éclairage, par son omniprésence essentielle dans nos bâtiments, offre une structure d'accueil et de déploiement fiable permettant d'adapter son usage en collectant des données, de proposer de nouveaux services et permet alors de comprendre et à améliorer l'usage des espaces dans lesquels il est déployé.

L'éclairage devient le support de la digitalisation.

Ces guides AFE/SBA sont téléchargeables gratuitement sur le site de l'AFE :

<http://www.afe-eclairage.fr/guides-et-recommandations/guides-afe-sba---la-renovation-de-l-eclairage-82.html>

Collection : Les dossiers de l'AFE

ISBN : 2-85604-055-1



Association française de l'éclairage

17, rue de l'Amiral Hamelin

75116 PARIS

Tél. : 01 45 05 72 00 – Mail : afe@afe-eclairage.fr – Site Internet : www.afe-eclairage.fr