ROGER NARBONI
Concepteur lumière

ÉCLAIRER L'ESPACE PUBLIC ET LE PAYSAGE

Nouvelles pratiques face aux enjeux environnementaux et sociétaux

EDITIONS LE MONITEUR

Sommaire

Introduction 7

Partie 1 Enjeux et acteurs de l'éclairage urbain 9

Chapitre 1 – Les enjeux de la lumière artificielle 11

Chapitre 2 – Les différents intervenants 19

Partie 2 Stratégie et conception des aménagements urbains et paysagers 25

Chapitre 3 – Des approches nocturnes stratégiques 27

Chapitre 4 – Concevoir un projet d'éclairage 45

Chapitre 5 – Éclairer un espace urbain 61

Chapitre 6 – Éclairer un aménagement paysager 75

Partie 3 Caractéristiques et cycle de vie des installations d'éclairage 89

Chapitre 7 – Les outils, les techniques et les technologies 91

Chapitre 8 – La maintenance, la rénovation et l'entretien 113

Partie 4 Évolutions et perspectives pour l'éclairage urbain 119

Chapitre 9 – Les évolutions des projets d'éclairage 121

Chapitre 10 – Les nuits urbaines du futur 139

Partie 5 Réalisations exemplaires 145

Accompagner les usages urbains 147

Créer des ambiances nocturnes respectueuses dans les espaces verts 169

Animer des lieux de pause et de détente 181

Valoriser le patrimoine 205

Glossaire 235

Table des concepteurs 241

Index 243

Table des matières 247

Introduction

En moins de deux décennies, les manières de concevoir les éclairages de l'espace urbain et du paysage ont radicalement changé. D'abord à cause des évolutions technologiques constantes des sources et des appareils d'éclairage, puis de l'arrivée révolutionnaire des LED, qui ont progressivement supplanté toutes les autres sources. Ensuite, grâce aux changements sociétaux et à la prise de conscience fondamentale de l'impact de l'éclairage artificiel sur la santé comme sur la biodiversité, ce qui a entraîné de nouvelles réglementations à prendre en compte aujourd'hui. Le bouleversement climatique en cours et la pandémie mondiale liée au coronavirus ont aussi changé la donne. Enfin la pluridisciplinarité dans la conception des projets urbains, la nécessaire concertation des habitants, la co-construction des projets, l'économie circulaire, modifient actuellement en profondeur notre métier et notre pratique.

Et les attentes des citadins elles aussi ont évolué. Ils veulent à juste titre participer aux décisions sur les projets et les stratégies d'éclairage. Certains, de plus en plus nombreux, souhaitent retrouver le plaisir de l'obscurité en ville comme à la campagne. D'autres se demandent si les illuminations de monuments sont encore aujourd'hui nécessaires et si l'éclairage urbain dans les petites villes et les villages ne pourraient pas être éteint en cœur de nuit. Le gaspillage, les économies d'énergie, le sur-éclairement, sont dorénavant et régulièrement questionnés et les élus interpellés.

C'est pourquoi il était important et nécessaire de fournir avec ce livre une aide concrète aux maîtres d'œuvre et aux maîtres d'ouvrage pour mieux comprendre ces évolutions technologiques, environnementales, sociétales, normatives et réglementaires avec une perspective délibérément pragmatique et didactique.

Un premier chapitre aborde et définit tous les enjeux de la lumière artificielle. Le deuxième chapitre explicite les différents intervenants de l'éclairage urbain. Le chapitre suivant détaille les approches nocturnes stratégiques et explique toute l'importance actuelle des schémas directeurs d'aménagement lumière et des trames noires. Dans le quatrième chapitre, ce sont les étapes de la conception du projet d'éclairage qui sont abordées. Le cinquième et le sixième chapitre donnent des clés essentielles pour élaborer l'éclairage d'un espace urbain et d'un aménagement paysager. Le septième chapitre nous explique les outils, les techniques et les technologies à utiliser. La maintenance et l'exploitation sont traitées dans le chapitre suivant. Le neuvième chapitre nous parle des modifications en cours et à venir des projets d'éclairage. Le dernier chapitre envisage les nuits urbaines du futur et les manières dont l'éclairage urbain pourrait progressivement évoluer.

Pour terminer, 15 réalisations exemplaires, en France et à l'étranger, sont présentées de façon très détaillée dans une partie dédiée en fin d'ouvrage.

Puisse ce livre contribuer à éduquer notre regard nocturne pour réaliser des projets de mise en lumière, ancrés dans notre époque, et en accord avec les valeurs que nous souhaitons tous développer.

Puisse enfin ce livre ouvrir la voie à l'avènement d'un urbanisme nocturne porteur de sens et d'avenir pour le futur de nos nuits en ville et pour ses habitants.

1 Les enjeux de la lumière artificielle

Les développements de l'usage de la lumière artificielle sont liés aux progrès technologiques, mais aussi aux besoins et attentes des sociétés qu'elle éclaire. La lumière urbaine va en effet progressivement intégrer dans ses mises en œuvre son impact sur l'environnement – au sens large – dans lequel elle s'insère, au-delà des besoins fonctionnels et sécuritaires de ses usagers. Les modes et les rythmes de vie évoluent, les enjeux sociétaux également.

1.1 Une rapide histoire de l'éclairage

1.1.1 L'omniprésence des phénomènes lumineux naturels

Les premiers hommes vivaient déjà dans l'alternance du jour et de la nuit, même si, selon leur position géographique et les saisons, celle-ci était plus ou moins longue. L'apparition des étoiles après le coucher du soleil faisait partie de leur quotidien, et compte tenu de l'absence totale de pollution lumineuse* à cette époque, l'éclat du ciel nocturne et l'intensité de la voie lactée devaient sûrement leur permettre d'y voir suffisamment clair pour se repérer de nuit.

Pour certains d'entre eux, la nuit pouvait aussi se métamorphoser grâce à la présence des phénomènes naturels. Les éclairs, la foudre, les incendies, la lave incandescente, les aurores boréales transformaient leurs paysages nocturnes familiers. Ils découvraient à l'occasion une nuit habitée par des insectes ou des crustacés émetteurs de lumière, grâce à la bioluminescence*.

Avant de pouvoir acquérir, conserver puis dompter le feu et la flamme, les êtres humains ont donc d'abord été spectateurs de leurs nuits, car ils n'avaient aucune maîtrise de leur environnement nocturne, proche ou lointain.

1.1.2 La maîtrise progressive du feu et de la flamme

Le contrôle du feu pour effrayer les animaux dangereux, pour la cuisson des aliments, pour se réchauffer, a permis aussi, et pour la première fois, d'éclairer et de délimiter, dans la nuit, l'espace intime de chacun ou du groupe, à l'extérieur comme à l'intérieur (dans les grottes et les cavités habitées). Peut-être a-t-il aussi servi à se repérer de loin.

Cette découverte, qui a bouleversé l'existence humaine, a été suivie d'une évolution de la symbolique de la flamme, d'une quête continue d'amélioration de ses performances – son pouvoir éclairant, sa longévité, sa mobilité –, mais aussi de ses capacités créatrices et destructrices. Le feu est ainsi devenu un outil au service des activités nocturnes et a permis aux hommes de prendre possession de la nuit, dont la jouissance était auparavant réservée exclusivement aux animaux nocturnes, dotés de facultés visuelles et sensorielles bien supérieures à celles des humains.

Les différentes techniques de maîtrise de la flamme ont ensuite été intimement liées au développement humain, à l'amélioration de son habitat comme à la fondation des premières cités.

Même si, en ce temps-là, l'essentiel des activités humaines était diurne, l'éclairage artificiel s'est rapidement avéré nécessaire et utile pour voir et se déplacer la nuit, pour se protéger, se signaler ou se rassembler. Ces besoins impérieux sont certainement à l'origine des premières tentatives d'organisation d'un éclairage urbain qui n'était pas encore public.

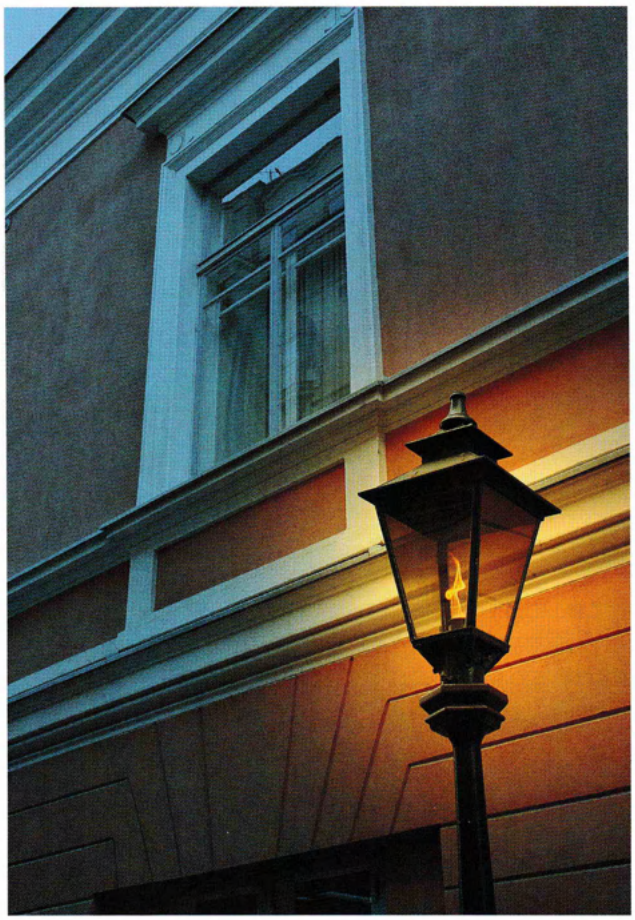
1.1.3 Des foyers du Moyen Âge à l'apparition de la « fée électricité »

Avec la multiplication et l'extension des villes naissent les premiers paysages nocturnes urbains.

Au Moyen Âge, le nombre de foyers permet de quantifier la population urbaine. L'obscurité règne alors, mais les lueurs générées à l'intérieur comme à l'extérieur des habitations révèlent déjà la forme et l'étendue des sites urbains.

Pour vaincre les peurs nocturnes, le maillage de ces petites lumières (madones éclairées, chandelles, flambeaux) s'étend progressivement à tout l'espace public, d'abord grâce aux initiatives privées ou religieuses, puis aux décisions royales. Les lanternes* se perfectionnent peu à peu. Initialement mobiles pour accompagner les déplacements nocturnes, elles vont être installées systématiquement aux coins des rues, créant ainsi les premiers réseaux d'éclairage public. Les matériaux combustibles sont ensuite améliorés. Des systèmes optiques permettent d'optimiser le flux lumineux*, de le diriger ou le répartir au mieux dans l'espace public.

Mais la première révolution de l'éclairage urbain artificiel sera celle de la mise en place des lanternes au gaz (photo 1.1) dans les rues des villes (à Paris, les premiers essais ont lieu en 1829).



▲ **Photo 1.1.** Lanterne au gaz à Helsinki, Finlande © ristoviitanen/stock.adobe.com

Puis, très vite, cette technologie peu efficace et relativement dangereuse est supplantée par l'éclairage électrique – dans un premier temps avec les lampes à arc électrique, ensuite grâce aux lampes à incandescence* inventées en 1879 par Thomas Edison –, perçu au début par beaucoup comme une apparition divine ou magique.

Cette deuxième révolution, liée au développement de l'ère industrielle, est à l'origine des premières illuminations* d'architectures et de monuments, notamment lors des célèbres expositions internationales et universelles de la fin du XIX^{e} siècle.

1.1.4 Les heures sombres font place aux nuits illuminées

Peu à peu, les nuits urbaines obscures s'étoilent de milliers de petits points lumineux* qui confèrent aux villes un nouvel imaginaire nocturne pointilliste, totalement différent de leur image diurne.

De fonctionnel, l'éclairage devient aussi décoratif. Les illuminations patrimoniales, les enseignes et les publicités lumineuses habitent les villes. Les grands magasins, les petits commerces, les hôtels, les bars et les restaurants rivalisent d'effets lumineux souvent tapageurs pour attirer les clients. La ville nocturne devient alors le lieu de tous les possibles. L'obscurité urbaine ne revenant que brièvement lors des deux premières guerres mondiales.

Dès la fin de la Seconde Guerre mondiale, lors de la reconstruction et de l'avènement de la civilisation automobile, l'éclairage fonctionnel est ensuite déployé de manière systématique pour permettre la sécurité nocturne des déplacements. Et l'éclairage artificiel va petit à petit accompagner les mutations urbaines. Pour améliorer son efficacité lumineuse*, les sources, les lanternes et les optiques font dès lors l'objet d'inventions et de développements constants, mais aussi de ruptures technologiques.

1.1.5 La révolution des LED

Au début des années 2000, les sources LED*, bien qu'inventées au début du XX^{e} siècle et utilisables dans le spectre visible* depuis 1962, transforment progressivement les illuminations architecturales, puis, très rapidement, l'éclairage des espaces publics, à tel point qu'aujourd'hui elles sont utilisées dans tous les projets d'éclairage.

Compte tenu de leur excellente efficacité lumineuse, en constante augmentation, de leur très longue durée de vie*, de leur caractère digital, de leur petite taille et de leur faible émission thermique, les LED se substituent progressivement à toutes les autres sources d'éclairage artificiel, et ce dans tous les domaines (éclairage extérieur, intérieur et scénique).

Ces sources numériques génèrent de nouvelles formes de luminaires* et de candélabres* et peuvent s'intégrer dans des mobiliers urbains ou dans des structures lumineuses. Cette évolution oblige à revoir entièrement la conception de l'éclairage des espaces urbains et du paysage.

1.2 Les évolutions sociétales

1.2.1 Le règne de l'éclairage fonctionnel

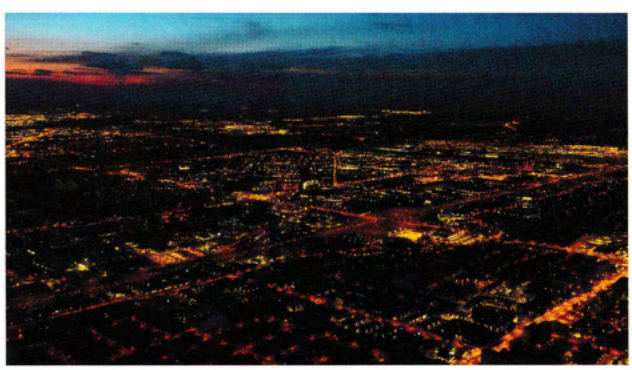
Dès que l'éclairage artificiel a été maîtrisé puis développé, il a été mobilisé en ville au service de la sécurité des déplacements et des personnes. L'espace urbain nocturne se devait d'être rassurant pour les citadins.

Rappelons qu'en France, l'éclairage des villes dépendait du pouvoir des préfets de police jusqu'à la promulgation des lois de décentralisation, en 1992, qui transférèrent cette responsabilité aux maires.

Avec le déploiement et l'extension des moyens de locomotion, le rôle fonctionnel de l'éclairage urbain s'est donc rapidement imposé, pour éviter les conflits entre les usagers, mais aussi pour étendre aux heures sombres les activités et les déplacements nocturnes.

La composition et l'évolution des villes ont naturellement conditionné les technologies d'éclairage qui ont dû s'adapter pour répondre aux attentes et aux besoins croissants des habitants. Les lanternes, les luminaires, les supports* se sont donc rationalisés pour permettre un éclairage fonctionnel uniforme, capable de répondre à l'augmentation continue des véhicules en ville. Les luminaires, initialement installés sur les façades ou parfois en suspension au milieu des rues, ont été plus systématiquement fixés sur des candélabres disposés régulièrement en limite de chaussée ou en bordure des trottoirs.

Cet éclairage public pointilliste, que l'on peut facilement observer en vue aérienne (photo 1.2), né des nécessités fonctionnelles et des impératifs d'éclairement* au sol, est encore celui aujourd'hui présent dans toutes les villes du monde, quelles que soient les sources utilisées.



▲ **Photo 1.2.** Les lumières de la ville de Toronto, Canada
© TOimages/stock.adobe.com

Il a aussi durablement imprégné les images diurnes des espaces publics, dans les centres historiques comme dans les quartiers modernes ou contemporains. À tel point que la plupart des films de science-fiction reproduisent encore ces alignements réguliers de candélabres, même lorsque les scènes urbaines nocturnes se déroulent plusieurs siècles après le nôtre.

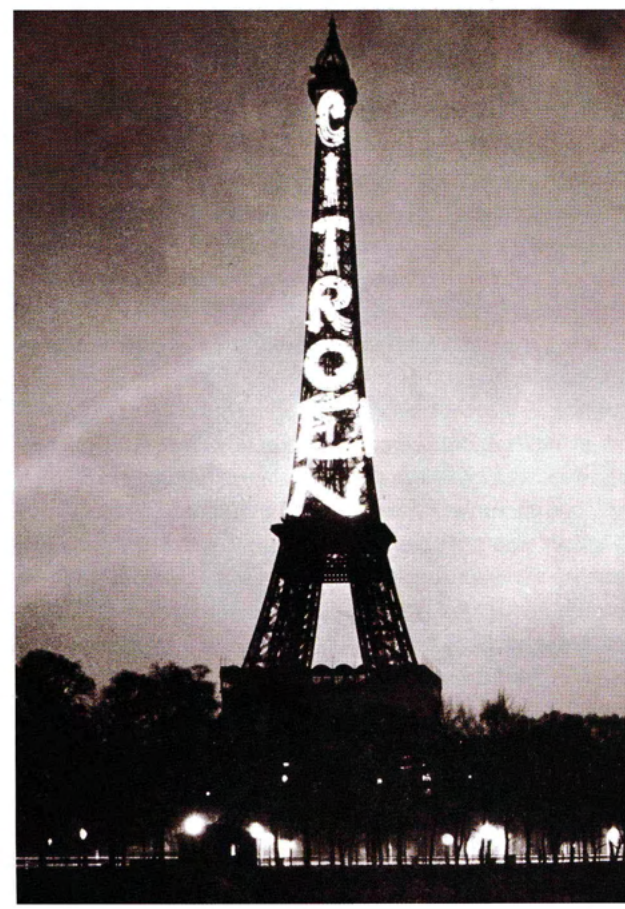
La mutation en cours des villes, qui se préoccupent dorénavant et prioritairement des transports collectifs, des modes doux et des piétons aux dépens des voitures particulières, devraient nous permettre, à terme, d'imaginer d'autres manières d'éclairer l'espace public (voir chapitre 10).

1.2.2 Le changement des modes de vie

Depuis leur création, les espaces urbains sont principalement occupés dans la journée, les gens n'aimant pas se trouver dehors une fois la nuit tombée.

Mais à partir du XIX[e] siècle, des théâtres, des bars populaires, des cabarets, des salles de spectacle, deviennent précurseurs en proposant à leur public d'investir le monde nocturne. Le déploiement de l'éclairage public, les féeries lumineuses des expositions universelles de la fin du XIX[e] siècle et du début du XX[e] siècle, encouragent les visiteurs comme les habitants à sortir plus tardivement et à profiter des heures nocturnes pour découvrir autrement la ville qui leur offre alors un nouveau visage. À New York, le métro fonctionne 24 h/24 et 7 j/7, dès son inauguration en 1904. Et, vers la fin des années 1970, beaucoup de commerces de bouche y sont déjà ouverts toute la nuit.

Au début du XX[e] siècle, Fernand Jacopozzi (1877-1932), ingénieur électricien, invente les toutes premières illuminations événementielles* et pérennes (photo 1.3) sur les plus grands monuments français (Grand Palais en 1911, tour Eiffel en 1925, cathédrale Notre-Dame de Paris en 1930).



▲ **Photo 1.3.** Illuminations de la tour Eiffel par Fernand Jacopozzi, 1925

Et, peu après la fin de la Seconde Guerre mondiale, les « sons et lumières » sont créés en France sur des sites historiques célèbres (châteaux de la Loire en 1950 et château de Chambord en 1952).

3 Des approches nocturnes stratégiques

Une stratégie lumière et les outils qu'elle mobilise (diagnostic nocturne, schéma directeur d'aménagement lumière, trame noire, charte lumière) ne reposent pas uniquement sur des prescriptions techniques en matière d'éclairage public. Elle aborde différents sujets et peut apporter des réponses à de nombreux enjeux : sociétaux, urbains, environnementaux, liés à la transition énergétique, aux besoins de sobriété et d'efficacité énergétique, de dynamisme économique et touristique, d'innovation et de transition numérique.

3.1 Initier une stratégie lumière

À la suite de la naissance de l'urbanisme lumière* en France en 1987, et des différents outils qu'il a générés (schéma directeur d'aménagement lumière ou SDAL*, plan lumière*, charte lumière), il a fallu attendre quelques décennies avant que la dimension nocturne de l'urbanisme soit réellement prise en compte dans les projets urbains.

Et, encore aujourd'hui, un certain nombre de plans directeurs majeurs ou de plans guides, à l'échelle de villes entières ou d'un quartier, sont élaborés par des équipes de maîtrise d'œuvre sans réflexion sur l'aspect nocturne des projets, alors que la nuit représente annuellement 50 % du temps de nos vies.

L'élaboration d'une stratégie lumière* est utile et nécessaire pour servir de base aux programmes des futurs projets d'éclairage, qu'ils soient liés ou non à des aménagements urbains ou paysagers.

Elle permet aux différents acteurs de la ville (élus, services techniques, maîtres d'ouvrage publics ou privés, maîtres d'œuvre) de dialoguer et de s'entendre rapidement sur l'image, le paysage et les ambiances nocturnes souhaités à terme. Elle est aussi nécessaire pour communiquer et concerter avec les citoyens concernés.

Une stratégie lumière (fig. 3.1) peut intéresser un territoire d'étude de très grande dimension ou très complexe, qui implique un grand paysage, plusieurs villes ou villages et des maîtrises d'ouvrage différentes (État, régions, collectivités territoriales et locales, investisseurs privés).

Réalisée en un temps relativement court de quelques mois (contrairement aux études de SDAL qui nécessitent de très longs mois ou années), une stratégie lumière permet plus de liberté de conception et plus d'échanges avec les élus pour mesurer les enjeux nocturnes du territoire étudié. Elle ne prendra pas en compte la complexité du territoire concerné ni le détail des prescriptions techniques induites.



▲ **Fig. 3.1.** Carte de la stratégie lumière (végétale et minérale) de la Principauté de Monaco © Concepto

Une stratégie lumière est souvent étudiée et présentée dans le cadre d'un dialogue compétitif pour un marché à performance énergétique en charge de la rénovation et de la reconstruction d'un parc d'éclairage public* pour une ville ou une agglomération, afin d'asseoir les propositions techniques et innovantes qui seront ensuite déclinées plus en détail lorsque ce marché sera gagné. En effet, le temps relativement contraint de ce type de dialogue (quelques mois seulement) ne permet pas l'analyse approfondie du territoire et de ses enjeux, et donc l'étude d'un SDAL qui nécessite également de nombreux échanges avec les services techniques et les élus, avant sa finalisation, ce qui n'est souvent pas possible ou autorisé lors d'un dialogue compétitif.

L'éclairage extérieur doit tenir compte en premier lieu des normes européennes qui définissent et cadrent les classes d'éclairage des voies et des espaces piétons (norme NF EN 13201 publiée en 2004 et 2005 et révisée en 2015 et 2016).

En France, le 27 décembre 2018, un arrêté [TREP1831126A] relatif à la prévention, à la réduction et à la limitation des nuisances lumineuses* a été publié, qui impacte dorénavant et de manière très importante le projet d'éclairage extérieur, sa conception, le choix des sources d'éclairage (notamment leur tonalité de lumière*) et des appareils, et les horaires d'allumage et d'extinction. Cet arrêté génère des contraintes majeures à prendre en compte et à respecter pour améliorer au maximum la préservation de la biodiversité nocturne.

L'arrêté distingue différentes catégories d'installations d'éclairage associées chacune à des exigences techniques spécifiques :

– extérieur destiné à favoriser la sécurité des déplacements, des personnes et des biens et le confort des usagers sur l'espace public ou privé, en particulier la voirie, à l'exclusion des dispositifs d'éclairage et de signalisation des véhicules, de l'éclairage des tunnels, aux installations d'éclairage établies pour assurer la sécurité aéronautique, la sécurité ferroviaire, la sécurité maritime et la sécurité fluviale ;

– de mise en lumière* du patrimoine, du cadre bâti, ainsi que des parcs et jardins privés et publics accessibles au public ou appartenant à des entreprises, des bailleurs sociaux ou des copropriétés (photo 4.2) ;

– des équipements sportifs de plein air ou découvrables ;

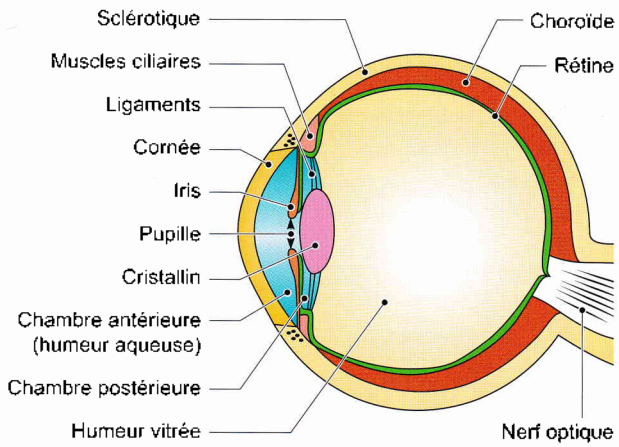
– des bâtiments non résidentiels, recouvrant à la fois l'illumination* des bâtiments et l'éclairage intérieur émis vers l'extérieur de ces mêmes bâtiments, à l'exclusion des gares de péage ;

– des parcs de stationnements non couverts ou semi-couverts ;

– événementiel extérieur, constitué d'installations lumineuses temporaires utilisées à l'occasion d'une manifestation artistique, culturelle, commerciale, sportive ou de loisirs ;

– de chantiers en extérieur.

L'ŒIL ET LA VISION

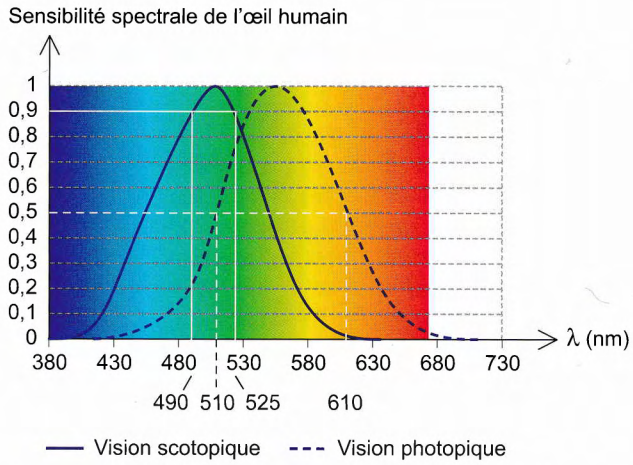


▲ **Fig. 4.1.** Œil en coupe

L'œil est l'organe des sens qui nous permet de prendre connaissance de notre environnement en recevant la lumière émise directement ou après réflexion sur la surface des objets. Le système optique de l'œil (fig. 4.1) est relativement simple : un rayon lumineux* va traverser successivement la conjonctive, la cornée, l'humeur aqueuse, le cristallin, le corps vitré, avant de parvenir à la rétine.

Dans le système optique, la rétine a pour fonction de transformer l'information lumineuse reçue par l'œil en signal électrique qui est conduit jusqu'au cerveau par les fibres du nerf optique. La rétine est composée de deux types de cellules réceptrices. Au centre, dans une zone appelée *fovéa*, se trouvent les cônes. Les autres cellules, appelées *bâtonnets*, sont situées en périphérie. L'être humain a des activités diurnes et nocturnes, son œil a donc un fonctionnement hybride pour faire face à ces deux conditions.

Les cônes sont responsables de la vision diurne (dite *vision photopique*) car ils sont sensibles à des intensités lumineuses moyennes et fortes. Ils ont aussi une vitesse de réaction très rapide (25 millisecondes) et possèdent trois types de pigments (rouge, vert et bleu), qui permettent la vision en couleurs. Les bâtonnets entrent en jeu pour la vision nocturne (dite *vision scotopique*).



▲ **Fig. 4.2.** La sensibilité de l'œil en vision diurne et nocturne

Ils sont sensibles à de faibles intensités et ont une vitesse de réaction plus lente (deux dixièmes de seconde).
Ils ne possèdent qu'un type de pigment, ne permettant qu'une vision monochromatique (fig. 4.2).
En vision diurne, nous avons une bonne vision centrale, en couleurs, avec une acuité performante et rapide. La vision nocturne est périphérique, avec une zone centrale aveugle correspondant à la fovéa (qui ne comporte pas de bâtonnets). Elle est unicolore et l'acuité visuelle, moins fine, nécessite une seconde pour être à son maximum.
En ville, compte tenu des nombreux éclairages ambiants, nous ne sommes quasiment jamais en vision nocturne, mais dans un système intermédiaire qui conjugue les deux modes de vision et qui s'appelle *vision mésopique*. Pour expérimenter notre vision scotopique, il faut aller dans la campagne, dans un désert, sur la mer ou à la montagne, là où il fait véritablement nuit noire.
Le passage de la vision diurne à la vision nocturne (c'est-à-dire d'une forte à une faible luminosité), déclenché par notre cerveau, nécessite une adaptation assez longue. Il se fait pour l'essentiel en 10 minutes, mais il faudra 30 minutes pour atteindre le maximum de sensibilité (on dit souvent qu'entre ces deux seuils nous sommes « entre chien et loup », ce qui est assez inconfortable).
D'autre part, à intensité égale, la sensation d'éblouissement* produite par une source lumineuse soudaine est plus forte et plus prolongée lorsque la luminosité ambiante est faible. En clair, la nuit, nous sommes plus aveuglés par les phares de voiture en rase campagne qu'en centre-ville. À noter que la sensibilité à l'éblouissement est aggravée par certaines anomalies oculaires (la myopie par exemple) ou par certains facteurs temporaires tels que l'absorption d'alcool.
Précisons que notre œil est aussi doté d'un autre dispositif d'adaptation à la luminosité. L'iris, en se contractant ou en se relâchant, rétrécit ou agrandit la pupille et permet de laisser pénétrer une plus ou moins grande quantité de lumière dans l'œil. Il est commandé par un réflexe à la luminosité ambiante qui est totalement inconscient. De jour, les sourcils et les cils jouent aussi un rôle complémentaire pour filtrer la lumière solaire.
Enfin, il faut noter qu'à un haut degré d'intensité lumineuse*, de nombreuses cellules de la rétine se trouvent activées au même moment et donc incapables de percevoir d'autres images tant qu'elles ne sont pas revenues à leur état de repos. C'est ce qu'on appelle l'*éblouissement*.
Malheureusement, le système optique de l'œil est assez souvent défectueux. Certaines personnes sont myopes (elles voient bien de près mais mal de loin). D'autres sont hypermétropes ou astigmates. De plus, le privilège des « 10/10 » n'est que temporaire. Un déclin inéluctable, quoique plus ou moins rapide selon les individus, débute insidieusement vers l'âge de 40 ans. Il prend alors généralement la forme d'une presbytie, c'est-à-dire d'une diminution de la faculté d'accommodation. À cela s'ajoute l'éventualité d'une opacification du cristallin, appelée *cataracte*, ainsi que d'autres détériorations moins fréquentes. Nombreux sont donc ceux qui, en l'absence de verres correcteurs ou d'intervention chirurgicale, resteraient dans un flou partiel ou total. Il est donc très important avant de se lancer dans toute étude d'un projet d'éclairage d'espace public ou de paysage de bien connaître comment fonctionnent l'œil et la vision nocturne et de prendre en compte tous les publics qui seront amenés à y venir, avec toutes les variantes possibles de leurs capacités visuelles.

4.5.5 Dossier de consultation des entreprises (DCE)

En complément des pièces graphiques énoncées précédemment, le dossier de consultation des entreprises doit intégrer plus particulièrement pour l'éclairage un chapitre du cahier des clauses techniques et particulières (CCTP) qui décrit les travaux, les objectifs et les besoins pour que les entreprises installatrices puissent répondre à cette consultation et faire une offre.

À noter que, pour l'éclairage d'un espace urbain ou d'un aménagement paysager, le dossier éclairage est généralement inclus dans le lot électricité et VRD du dossier de consultation des entreprises de l'ensemble de l'opération, car l'entreprise installatrice qui fait une offre doit aussi prendre en charge l'alimentation électrique du projet d'éclairage.

4.5.6 Assistance au contrat de travaux (ACT)

En parallèle de cette étape effectuée par le bureau d'études techniques pour le lot électricité et VRD, le concepteur lumière doit vérifier les références en éclairage des entreprises qui font une offre et le contenu technique et financier des offres reçues.

4.5.7 Visa

Lors de cette phase, le concepteur lumière vérifie et valide les échantillons des sources, des appareils d'éclairage et des supports présentés par l'entreprise retenue.

Des essais nocturnes peuvent être effectués à ce stade, s'ils ont été prévus dans l'appel d'offres. Ils servent à confirmer des effets lumineux, des appareils d'éclairage et leurs positions.

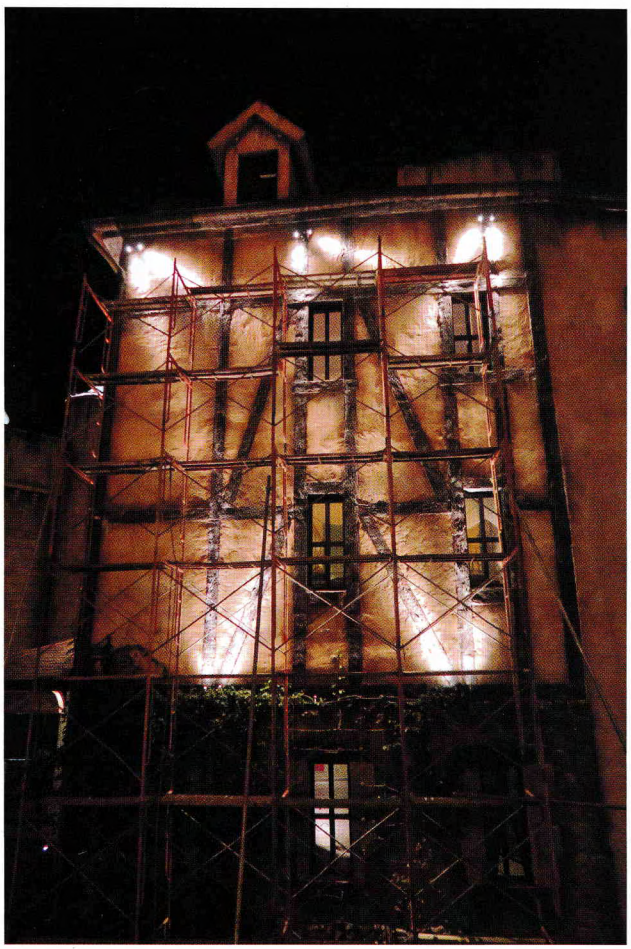
Les plans d'exécution réalisés par l'entreprise sont examinés, amendés si nécessaire et visés.

4.5.8 Direction de l'exécution des travaux (DET)

Cette phase très importante du projet d'éclairage est généralement supervisée par le bureau d'études techniques en lien avec le concepteur lumière car l'installation des supports et des appareils d'éclairage se fait surtout en fin de chantier (photo 4.3).

Néanmoins, en début de chantier, il est utile de vérifier et de confirmer avec l'entreprise sur site les emplacements envisagés pour les différents supports (cette opération est alors appelée *piquetage sur site*), notamment ceux situés sur des façades ou sur des sols existants.

À noter que pour les appareils d'éclairage fixés en console ou en applique sur façade l'autorisation des propriétaires des édifices concernés est nécessaire. Dans certains cas, la commune a déjà publié un arrêté de servitude publique pour la pose des éclairages fonctionnels. Mais les éclairages dits *décoratifs* (mise en lumière d'une façade, de détails architecturaux, d'un monument situé en face) doivent faire l'objet d'une autorisation écrite des propriétaires de l'édifice. Tout au long du chantier, et en cas de problèmes techniques, de modifications rendues nécessaires par l'évolution du projet, de validations ou de décisions sur site à confirmer, le concepteur lumière peut effectuer des visites de chantier à la demande du maître d'ouvrage ou de l'équipe de maîtrise d'œuvre. Sa présence sera nécessaire à la livraison des supports et des appareils d'éclairage et au début de leur installation.



▲ **Photo 4.3.** Chantier de Ba Na Hill, Vietnam © Concepto

L'échafaudage sur la façade sert à la fois à la pose des projecteurs et à leurs réglages nocturnes.

4.5.9 Réglages nocturnes

L'étape des réglages nocturnes n'est pas identifiée en tant que telle dans les missions de la loi MOP. Elle est pourtant essentielle pour finaliser sur site le projet d'éclairage. Elle permet de finaliser la couleur de lumière des sources LED*, en cas de lumière blanche réglable, les niveaux lumineux lorsque les sources sont gradables*, la couleur des lumières pour les appareils équipés de sources trichromiques*. Les

divers scénarios d'éclairage sont calés, programmés, vérifiés et enregistrés.
Les projecteurs* orientables sont réglés sur site, les faisceaux lumineux* sont dirigés sur les mobiliers ou vers les espaces à souligner (photo 4.4).
Des relevés des niveaux d'éclairement obtenus sont réalisés à cette occasion par l'entreprise installatrice sous la conduite du concepteur lumière.



▲ **Photo 4.4.** Réglages nocturnes avec nacelle des projecteurs de la promenade Cesária-Évora à Paris © Concepto

4.5.10 Assistance aux opérations de réception (AOR)

Une fois le chantier finalisé et livré, il est nécessaire de vérifier tous les supports et matériels d'éclairage installés et de noter tous les défauts de fabrication et les anomalies de fonctionnement constatés, lors d'une opération préalable à la réception des travaux, qui font alors l'objet de réserves écrites et communiquées à l'entreprise qui doit y remédier avant la prononciation de la réception finale.
Il faut également vérifier et viser les documents des ouvrages exécutés (DOE), transmis par l'entreprise ainsi que les relevés des niveaux d'éclairement finaux.

4.6 Un vocabulaire dédié

Un projet d'éclairage d'un espace public ou d'un aménagement paysager peut se concevoir de manières très différentes et nous verrons dans les chapitres suivants comment procéder en fonction de chaque type d'espace concerné. Mais définissons d'abord les diverses typologies d'éclairage, les différents modes et directions et les appellations existantes, de manière à instituer un langage commun préalable à toute conception d'un projet.

4.6.1 Typologies d'éclairage

Elles sont liées à ce que l'on souhaite éclairer et précisons que les terminologies ont changé au cours du temps en écho aux évolutions sociétales.

Les définitions proposées ci-après caractérisent la fonction dominante de chaque éclairage et bien souvent des fonctions se superposent compte tenu de la proximité des espaces (voirie et trottoir pour piétons par exemple) ou de la présence voisine des installations d'éclairage (structure lumineuse ou éclairée installée dans un parc par exemple).

Éclairage fonctionnel

Comme nous l'avons vu dans le chapitre 1, le terme *éclairage fonctionnel* était pendant très longtemps le seul terme utilisé pour définir un éclairage extérieur. Le rôle de l'éclairage n'était alors caractérisé qu'en rapport avec le fonctionnement de l'espace circulé. L'éclairage fonctionnel permettait de voir et d'être vu, et il était uniquement dédié aux automobilistes assis dans leur véhicule. Les choix des tonalités de lumière des sources (source orangée au sodium haute pression pour la voirie et source blanc bleuté à vapeur de mercure pour les trottoirs) et les grandeurs photométriques recherchées (la luminance* de la chaussée exprimée en Cd/m^2) étaient centrés sur cette fonction unique.



▲ **Photo 4.5.** Éclairage de la place Verdun à Tarbes © Xavier Boymond et Abel

L'éclairage de la place est réalisé à l'aide de candélabres* piétonniers au design contemporain.

Éclairage de voirie

Vers la fin des années 1980, avec l'évolution de la conception des projets d'éclairage, le terme d'*éclairage de voirie* a commencé à être utilisé pour personnaliser la manière d'éclairer la partie de l'espace public réservée aux véhicules et la différencier des autres éclairages contigus. On parle aussi d'*éclairage de la chaussée* et, dans certains cas, d'*éclairage routier*, en référence à l'éclairage des routes périurbaines. On emploie le terme d'*éclairage urbain* lorsqu'on souhaite mettre au contraire l'accent sur le traitement nocturne plus global des rues en ville.

Éclairage piétonnier

Parallèlement, le terme *éclairage piétonnier* est apparu pour distinguer cet éclairage dédié de celui de la voirie et affirmer par la même occasion le rôle croissant que commençaient à tenir les piétons dans l'espace public (photo 4.5).

Éclairage spatial

Il définit l'éclairage d'un grand espace (place, parvis), réalisé généralement avec des systèmes d'éclairage spécifiques (photo 4.6).



▲ **Photo 4.6.** Éclairage spatial de la place de la gare à Poitiers © Xavier Boymond

L'éclairage est mis en œuvre à l'aide de mâts en bois de grande hauteur supportant des projecteurs.



▲ **Photo 4.7.** Éclairage paysager des jardins de la Fontaine à Nîmes © LEC



▲ **Photo 4.8.** Éclairage architectural de la basilique Saint-Sernin à Toulouse © Concepto

le projet d'éclairage peut souligner les séquences créées en tenant compte du dessin des voies circulées.
Rappelons que, de nuit, l'alignement des points lumineux, leur hauteur, sont des guides visuels naturels pour les automobilistes et qu'il faut donc veiller à ne pas contrarier cette lecture essentielle à la sécurité des déplacements mobiles. Il n'est donc pas souhaitable de changer trop fréquemment l'axe d'implantation des points lumineux ou de créer des décrochés, si l'aménagement est uniforme dans sa longueur. Comme nous le verrons dans les chapitres suivants, l'animation nocturne des longues voies circulées (rue, avenue, boulevard, front de mer, etc.), le rythme visuel peuvent être aussi créés par l'éclairage des espaces piétonniers contigus qui laissent plus de liberté de conception, et par celui des places traversées ou longées.

5.4 Traiter ensuite les trottoirs et les espaces piétonniers contigus

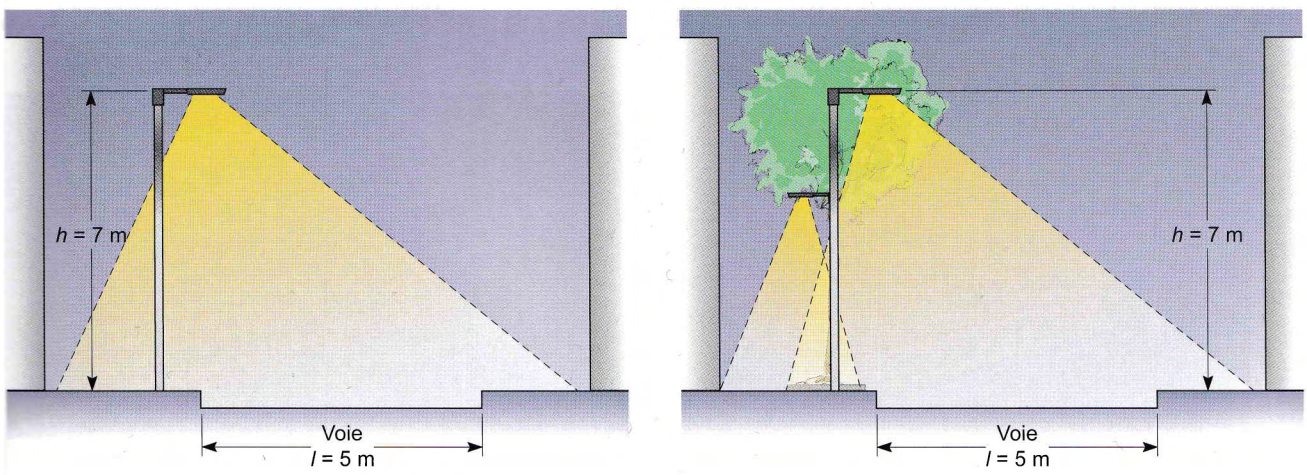
À l'heure actuelle, les normes européennes d'éclairement préconisent des niveaux lumineux moindres pour les espaces dédiés aux piétons (on recherchera généralement pour ce type d'espace et au minimum un niveau moyen d'éclairement de 5 lux avec un éclairement ponctuel minimal de 1 lux). C'est pourquoi, l'éclairage de ces espaces est étudié dans un second temps, après avoir réglé l'éclairage des chaussées.

5.4.1 Choix d'un éclairage piétonnier dédié

Dans une rue ordinaire, de faible largeur (< 12 m par exemple), avec des trottoirs attenants à la chaussée, l'éclairage de ces derniers était anciennement réalisé à partir du flux lumineux résiduel émis par les luminaires de voirie. Dans ce cas, l'implantation était unilatérale et, si la rue n'était pas plantée, l'éclairage était produit à partir de luminaires fixés en console sur façade à une hauteur inférieure ou égale à 12 m. Le trottoir sous le luminaire et le trottoir opposé étaient ainsi tous deux éclairés.
À noter que dans la plupart des grandes villes, et dans deux tiers des cas, les rues et les trottoirs sont éclairés conjointement avec des systèmes de luminaires fixés directement en console sur façade, avec un câble d'alimentation électrique remontant sur celle-ci, généralement au niveau de la mitoyenneté. Ce qui est une manière très économique d'éclairer les rues (le mât d'éclairage coûte en effet beaucoup plus cher que le luminaire et il engendre des travaux de gros œuvre, de tranchées, de fondation et de câblage également beaucoup plus onéreux).
Dans le cas d'une rue densément plantée, les ombres portées des feuillages peuvent plonger dans l'obscurité une grande partie du trottoir adjacent à l'axe des candélabres mais également le trottoir opposé. Ce qui nécessite un éclairage dédié au trottoir à l'aide d'un luminaire piéton fixé à l'arrière du candélabre sur une crossette ou, si le trottoir est large (> 4 m de largeur), à partir d'une ligne de candélabres piétonniers implantés sur le trottoir (fig. 5.4). Un trottoir large peut être aussi éclairé à l'aide de luminaires piétons fixés sur la façade, à une hauteur comprise entre 4 et 6 m selon la largeur du trottoir, la configuration de la façade et la présence ou non de rez-de-chaussée commerciaux et de vitrines de grande hauteur.

5.4.2 Choix de la tonalité de lumière

À l'époque de l'approche ingénieriste et fonctionnelle de l'éclairage public (jusque vers la fin des années 1980), la tonalité de lumière du trottoir éclairé spécifiquement était choisie



Sans éclairage piétonnier dédié — Éclairage piétonnier dédié

▲ **Fig. 5.4.** Coupe de principe avec et sans éclairage piétonnier dédié

de manière volontairement différente et contrastée de celle utilisée pour la chaussée. Pendant très longtemps, et alors que les chaussées étaient éclairées avec la lumière orangée des lampes au sodium haute pression, le trottoir était traité à l'aide de lampes à vapeur de mercure qui créaient une lumière blanc bleutée de très pauvre qualité et dotée d'un indice de rendu des couleurs déplorable. La justification de ces choix était liée aux capacités visuelles nocturnes supposées de l'œil qui différenciait mieux les lumières froides en périphérie des lumières chaudes visibles dans l'axe. Bien sûr ce principe était appliqué pour privilégier le regard du conducteur dans son véhicule et éviter ainsi hypothétiquement les potentiels conflits nocturnes avec les piétons traversants. En fait, ces choix étaient surtout imposés par la pauvreté des types de lampes à décharge à disposition des ingénieurs éclairagistes. Avec l'apparition de nouvelles lampes à décharge puis des sources LED, offrant d'autres tonalités de lumière et de meilleurs indices de rendu des couleurs, l'éclairage des trottoirs à partir de la même tonalité de lumière que celle proposée pour les chaussées s'est progressivement imposé (c'est ce qui fut réalisé pour la première fois en France, en 1991, avec des lampes au sodium blanc, lors du projet de réaménagement du cours des Cinquante-Otages à Nantes).

Ce principe d'unicité de la tonalité de lumière sur tout le gabarit de la voie, de façade à façade, permet de ne pas différencier visuellement la nuit les espaces latéraux ou centraux dévolus aux piétons de ceux utilisés par les véhicules (qui sont déjà, de fait, pour répondre aux normes d'éclairement, éclairés de manière plus importante). Il permet aussi, sans reprise des éclairages, une évolution possible ultérieure de l'aménagement en cas de souhait ou de test d'une nouvelle répartition des flux piétons et véhicules (photo 5.4).



▲ **Photo 5.4.** Éclairage de la Traverse, à Sarlat © Concepto

Cet éclairage est réalisé avec des luminaires fixés en console sur les façades, équipés de lampes au sodium blanc (2 500 K).

5.5 L'éclairage des pistes cyclables

Depuis plus d'une décennie, de plus en plus de pistes cyclables sont créées en ville. Il en existe de toutes sortes selon les différents projets d'aménagement et les volontés politiques des maires (pistes spécifiques et identifiées, intégrées à la chaussée ou délimitées, y compris à contresens de la circulation automobile, séparées, positionnées directement sur le trottoir, etc.). On parle plus généralement d'espaces dédiés aux modes doux qui incluent aussi d'autres modes de déplacement tels que les trottinettes, les rollers, les planches à roulettes et, plus récemment, les gyropodes.

Là encore, les normes européennes d'éclairement préconisent des niveaux lumineux pour les pistes cyclables (7,5 lux moyens d'éclairement sont requis). Ce niveau d'éclairement moindre que celui exigé pour la chaussée est facile à obtenir quand la piste est située directement sur cette dernière. En général, le système d'éclairage prévu pour la chaussée (candélabre ou luminaire en console sur façade) permet d'obtenir l'éclairement moyen requis sur la piste cyclable (fig. 5.5).

Quand la piste cyclable est située sur le trottoir ou hors de la chaussée, il faut alors prévoir un éclairage spécifique pour celle-ci, de manière à obtenir le niveau d'éclairement moyen requis qui est généralement supérieur à celui des espaces dédiés aux piétons. Un système de luminaires fixés à l'arrière du candélabre de voirie ou des candélabres piétonniers régulièrement implantés peuvent permettre d'éclairer à la fois la piste cyclable et le trottoir attenant si celui-ci n'est pas trop large (> 4 m par exemple). Il faut veiller à ne pas positionner les axes de ces candélabres dédiés trop proches de la piste cyclable pour ne pas créer des obstacles dangereux le long du flux des cyclistes.



▲ **Fig. 5.5.** Infographie d'un éclairage de rue avec piste cyclable (Anwohner strasse) © Morean

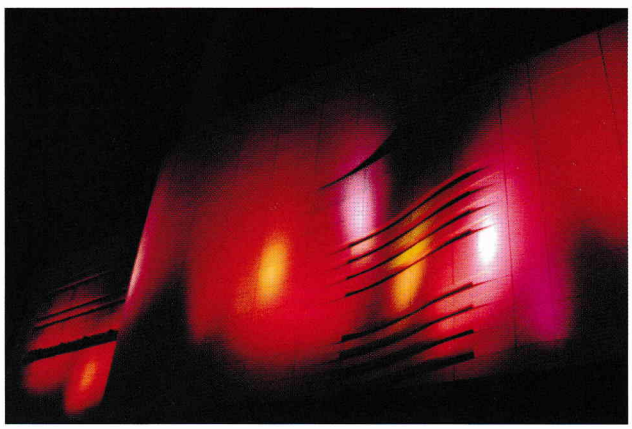
Cet éclairage est réalisé avec des luminaires verticaux intégrés de part et d'autre de la colonne lumineuse (candélabre Line de Selux).

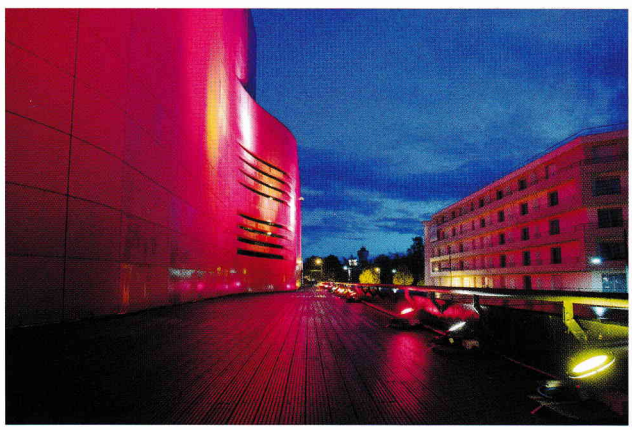
une partie importante du flux lumineux de la source en fonction de la couleur du filtre choisie (pour un bleu très profond, 95 % du flux lumineux peut-être ainsi retenu par le filtre), ce qui rendait parfois difficile la réalisation d'illuminations colorées situées à grande distance des appareils d'éclairage.
Vers la fin des années 1990, des lampes aux iodures métalliques de couleur sont apparues avec une gamme très pauvre (rose, vert, bleu et jaune pâles), néanmoins utiles pour pallier la faible émission de flux lumineux d'une lumière colorée filtrée.
L'apparition des LED a changé radicalement la donne. Elle a laissé augurer au départ d'une infinité de couleurs à disposition des concepteurs, les fabricants de LED laissant alors miroiter un million de possibilités de teintes différentes. Pourtant, très vite, les choix économiques et de production ont réduit la panoplie offerte à quelques couleurs seulement : quelques bleus, un ou deux verts, un cyan, un rouge, quelques ambres. Et, encore aujourd'hui, il est très difficile d'obtenir pour des appareils d'éclairage des couleurs particulières de LED, qui sont alors considérées comme des produits spéciaux par les fabricants, c'est-à-dire chers et à commander très en avance et en grande quantité.
Bien sûr, il est possible de combiner des LED de couleurs différentes pour créer d'autres lumières colorées. C'est le principe de la synthèse additive qui, en optique physique, permet d'ajouter les trois couleurs primaires de la lumière (rouge, vert, bleu) pour produire des couleurs complémentaires (rouge + vert = jaune, vert + bleu = cyan, bleu + rouge = magenta) et, en fonction des intensités respectives, tout un panel de couleurs intermédiaires. C'est ce procédé trichromique* (avec trois LED de couleurs primaires différentes disposées côte à côte) qui est à l'œuvre dans les projecteurs et appareils employés pour créer des illuminations colorées dynamiques et changeantes, pilotées par des systèmes informatiques avec, hélas, trop souvent, des enchaînements automatiques de couleurs, pauvres et systématiques.



▲ **Photo 7.4.** Un arbre éclairé par une couleur rouge saturée à Chartres © Concepto

Mais comme toutes les couleurs ne peuvent pas être créées par ce principe, il n'est pas rare d'utiliser encore des filtres colorés (en verre ou en plastique) qui offrent de très nombreuses possibilités de teintes pour modifier la lumière blanche émise par les LED (photos 7.5 et 7.6).
À noter que, selon leurs couleurs, les LED n'ont pas du tout la même efficacité lumineuse (la LED bleue par exemple offre une très faible efficacité lumineuse, de l'ordre de 30 lm/W).
Il existe peu de recherches et de connaissances sur les interactions possibles qui existent entre lumières colorées et perception humaine. De plus, le ressenti et la symbolique des couleurs sont très différents selon les cultures et les traditions. Pourtant la gamme très étendue de lumières colorées, plus ou moins saturées, aujourd'hui à notre disposition peut nous permettre de créer des ambiances lumineuses originales adaptées aux besoins et aux désirs de chacun, et capables d'être transformées à loisirs par les usagers selon leur état d'esprit du moment (photo 7.4).





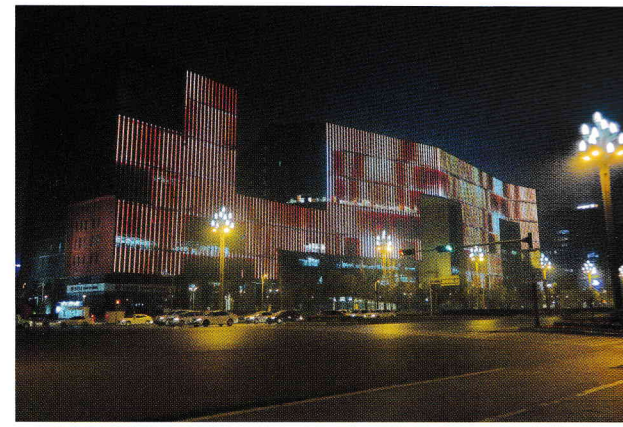
▲ **Photos 7.5 et 7.6.** Illumination colorée avec des projecteurs LED et des filtres de couleurs du théâtre Le Phénix à Valenciennes © Concepto

7.4.3 Source digitale

La LED est une source électronique et digitale qui a redonné aux utilisateurs la possibilité très attractive de gradation, souple et continue de 0 % à 100 %, que permettaient initialement les lampes à incandescence grâce à leur filament chauffé. À noter que la gradation d'une source LED ne modifie pas du tout sa tonalité de lumière, contrairement aux lampes à incandescence qui devenaient de plus en plus rouges vers les faibles intensités.

L'utilisation des LED en éclairage public, la maturité et la fiabilité de ces sources électroniques, couplées au développement des technologies de l'information, ont permis l'expérimentation puis la mise en place des premiers systèmes d'éclairage intelligents (voir § 7.9).

Les appareils d'éclairage (appareil linéaire, balise ou plot) utilisant des sources LED trichromiques (rouge, verte, bleue) ou quadrichromiques (avec l'adjonction d'une quatrième LED blanche ou ambre) sont pilotés informatiquement de manière que chaque source joue le rôle d'un pixel qui forme ensuite des images ou des vidéos pouvant atteindre de très grandes dimensions. Ce procédé permet de créer sur des façades de grandes surfaces émettrices de lumière qui apparaissent de loin comme des écrans vidéo géants (photo 7.7).



▲ **Photo 7.7.** Video Mapping de la High Tech Zone à Chengdu, Chine
© Roger Narboni

7.5 Les matériels d'éclairage

Ces moyens techniques indispensables pour étudier et mettre ensuite en œuvre les projets d'éclairage regroupent les appareils d'éclairage, construits autour des sources, et l'ensemble des supports* disponibles pour les disposer ou les fixer.

UNE RÉALISATION MULTIMÉDIA

Maîtrise d'ouvrage : Quintain Limited
Architectes : Dixon Jones, vPPR
Conception lumière : Speirs Major
Contenus des écrans : miriamandtom
Réalisation et installation du pont écran : The Light Lab
Réalisation : 2021

Mise en lumière de l'Olympic Way à Londres, Angleterre

L'Olympic Way est la route qui relie la station de métro Wembley Park et le stade de Wembley à Londres. À chaque événement, ce sont des milliers de spectateurs qui empruntent cette route pour se rendre directement au stade. Les passerelles en béton de l'Olympic Way avaient été construites dans les années 1970 pour permettre aux piétons d'accéder à l'ancien stade au-dessus d'un parc d'autocars qui n'existe plus aujourd'hui, il était donc nécessaire de réaménager aujourd'hui l'ensemble du site.

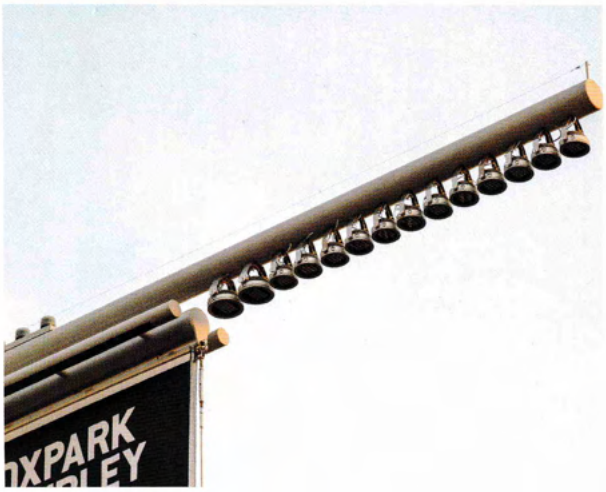
L'agence de conception lumière londonienne Speirs Major avait été chargée une décennie plus tôt de réaliser un schéma directeur d'aménagement lumière* pour ce quartier de New-Wembley. Ils devaient alors prendre en compte les très grandes variations d'utilisateurs avec de vastes foules les jours de match de football et un nombre beaucoup plus faible de résidents qui utilisaient quotidiennement cet itinéraire.

Ils avaient donc été missionnés pour imaginer, en collaboration avec les architectes en charge de ce réaménagement, un grand support*, dessiné sur mesure, et capable de créer toute une gamme d'atmosphères lumineuses spécifiques, tout en répondant aux normes d'éclairage nécessaires lors d'une occasion particulière.

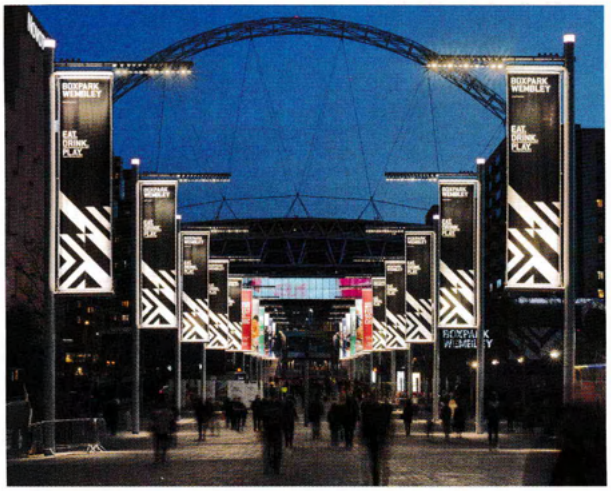
Ces grandes colonnes de 13,5 m de hauteur supportent une bannière éclairée et un ensemble de cinq types de projecteurs*, dessinés spécialement, et fixés le long d'un bras de 4,5 m de portée (photos 7.8 et 7.9). Des variations de distributions lumineuses créent ainsi les différentes ambiances souhaitées à l'aide de gradations différentes des appareils sélectionnés. L'optique qui éclaire en plongée les bannières génère également des taches de lumière sous chaque colonne.

La conception lumière mélange agréablement l'apport des écrans multimédias avec les effets d'éclairages dynamiques et l'ensemble crée une atmosphère envoûtante dans le tunnel (photos 7.10 et 7.11).

Comme l'explique l'équipe de Speirs Major, « le concept voit l'ensemble du passage souterrain devenir un média au contenu dynamique, à la fois de jour et après la tombée de la nuit ».



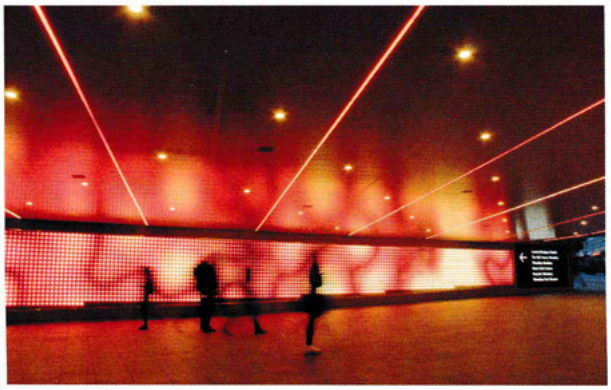
▲ **Photo 7.8.** Détail des projecteurs* fixés sur le bras des colonnes © James Newton



▲ **Photo 7.9.** Alignement des colonnes dans la perspective © James Newton



▲ **Photo 7.10.** Des écrans multimédias à l'entrée du tunnel © Chris Winter



▲ **Photo 7.11.** Les écrans multimédias créent des effets d'éclairages dynamiques © The Light Lab

7.5.1 Les appareils

Antérieurement, un appareil d'éclairage équipé d'une lampe classique était doté d'une seule source entourée d'une seule optique, avec une face ouverte initialement, qui fût progressivement fermée par une vasque transparente pour assurer une étanchéité et protéger la lampe des chocs et des intempéries. L'arrivée des premières LED dans les matériels d'éclairage (des puces électroniques de très faible dimension de 1 mm²) allait totalement transformer leur image diurne et nocturne en instituant dans l'appareil une trame pointilliste organisée de LED, rangées régulièrement, et équipées chacune d'une optique dédiée, destinée à répartir le flux lumineux sur l'ensemble de la surface à éclairer (photos 7.12 et 7.13). Il est curieux de noter que cette révolution LED n'a pratiquement pas modifié la forme générale des appareils d'éclairage (luminaires* et projecteurs), qui ont juste rétréci en hauteur et sont devenus plus plats. On aurait pu imaginer que la nouvelle composition et l'organisation si différente de ces sources de très petites dimensions auraient en fait décupler l'imagination des designers et des fabricants, qui se sont contentés de transformer leurs appareils existants en y intégrant des LED, puis de dessiner de nouveaux appareils qui ressemblent bizarrement aux anciens.

Luminaires

Appelés encore parfois *lanternes** lorsqu'on parle d'éclairage de voirie ou piétonnier, les luminaires servent à émettre, distribuer et contrôler la lumière émise par les sources LED. Ils sont composés d'éléments optiques disposés directement sur les LED mais aussi, si besoin, en face avant du luminaire, de parties mécaniques pour fixer et orienter l'appareil et de composants électriques et électroniques pour l'alimenter et le piloter (fig. 7.7).

Leur particularité et les optiques spécifiques qu'ils utilisent proviennent de la nécessité d'éclairer une chaussée ou un chemin piétonnier, qui offrent une grande longueur et une

DES MÂTS D'ÉCLAIRAGE EN RÉEMPLOI

Maîtrise d'ouvrage : Solideo
Maîtrise d'œuvre : Egis, bureau d'études mandataire - agence TER, paysagistes - Zefco, bureau d'études environnement - Urban Eco
Conception lumière : Concepto
Supports et matériels d'éclairage : Valmont – Aubrilam - Chrysalis
Études et travaux : 2021-2024

Village des athlètes des Jeux olympiques et paralympiques Paris 2024

Dans le cadre des JOP de Paris 2024, le village des athlètes, d'une superficie de 51 ha, situé à cheval sur les communes de Saint-Denis, Saint-Ouen et L'Île-Saint-Denis, dans le département de Seine-Saint-Denis, au nord de Paris, accueillera environ 15 000 sportifs et accompagnants pendant un mois.
Ce nouveau quartier porte de fortes ambitions : végétalisation des espaces publics à hauteur de 7 ha, maîtrise du bilan carbone, prise en compte du réemploi et des matériaux biosourcés pour l'ensemble du mobilier urbain, stratégie d'accessibilité universelle, réversibilité des espaces publics en « héritage » après les Jeux olympiques.

Ces enjeux, associés à l'attente d'un site « emblématique », ont permis à l'équipe de maîtrise d'œuvre de proposer et d'entreprendre une nouvelle approche d'écoconception lumière pour l'ensemble des éclairages des espaces publics du village. Les objectifs de cette mise en lumière* étaient d'accompagner la renaturation des espaces publics et de rechercher un équilibre entre lumière et obscurité, d'offrir des conditions de préservation de la biodiversité nocturne (faune et flore), un bien vivre au quotidien pour les athlètes comme pour les futurs habitants (phase héritage) et des conditions d'usage actif, festif et convivial. Le défi était aussi de créer un éclairage réversible, de concevoir des atmosphères nocturnes de proximité et d'accompagner les différentes mobilités.

Dès la conception du projet d'éclairage, l'idée d'imaginer des mâts, issus d'une fabrication 100 % française et en accord avec les principes de l'économie circulaire, s'est naturellement imposée.

Une première famille de mâts est entièrement issue du réemploi. Ils sont fabriqués à partir d'anciens mâts d'éclairage posés dans les années 2000 et aujourd'hui remplacés (photos 8.1 et 8.2). Avec un découpage et un usinage léger, nécessaires pour vérifier leur galvanisation et assembler le fût à la crosse, ils entament une seconde vie.

Une deuxième famille de mâts a été développée à partir de matériaux biosourcés, intégrant des matériaux de réemploi. Les supports* sont en bois lamellé-collé, en pin provenant de forêts autogérées et à la coupe limitée. Sur ces supports en bois sont fixées des crosses tubulaires récupérées sur d'anciens échafaudages destinés initialement à être jetés (photo 8.3).

Le réemploi combiné à l'utilisation de matériaux biosourcés a permis de réduire considérablement l'empreinte carbone des matériels d'éclairage.



▲ **Photo 8.1.** Récupération de mâts © Concepto



▲ **Photo 8.2.** Prototype de candélabre* à partir de mâts récupérés © Concepto



▲ **Photo 8.3.** Prototype de candélabre à partir d'un mât en bois et d'un tube d'échafaudage récupéré © Concepto



▲ **Photo 9.9.** Le pont Rion-Antirion © Concepto

La mise en lumière finale de cet ouvrage d'art de très grande dimension est très proche de l'infographie nocturne réalisée avant sa construction, à partir du modèle 3D fourni.

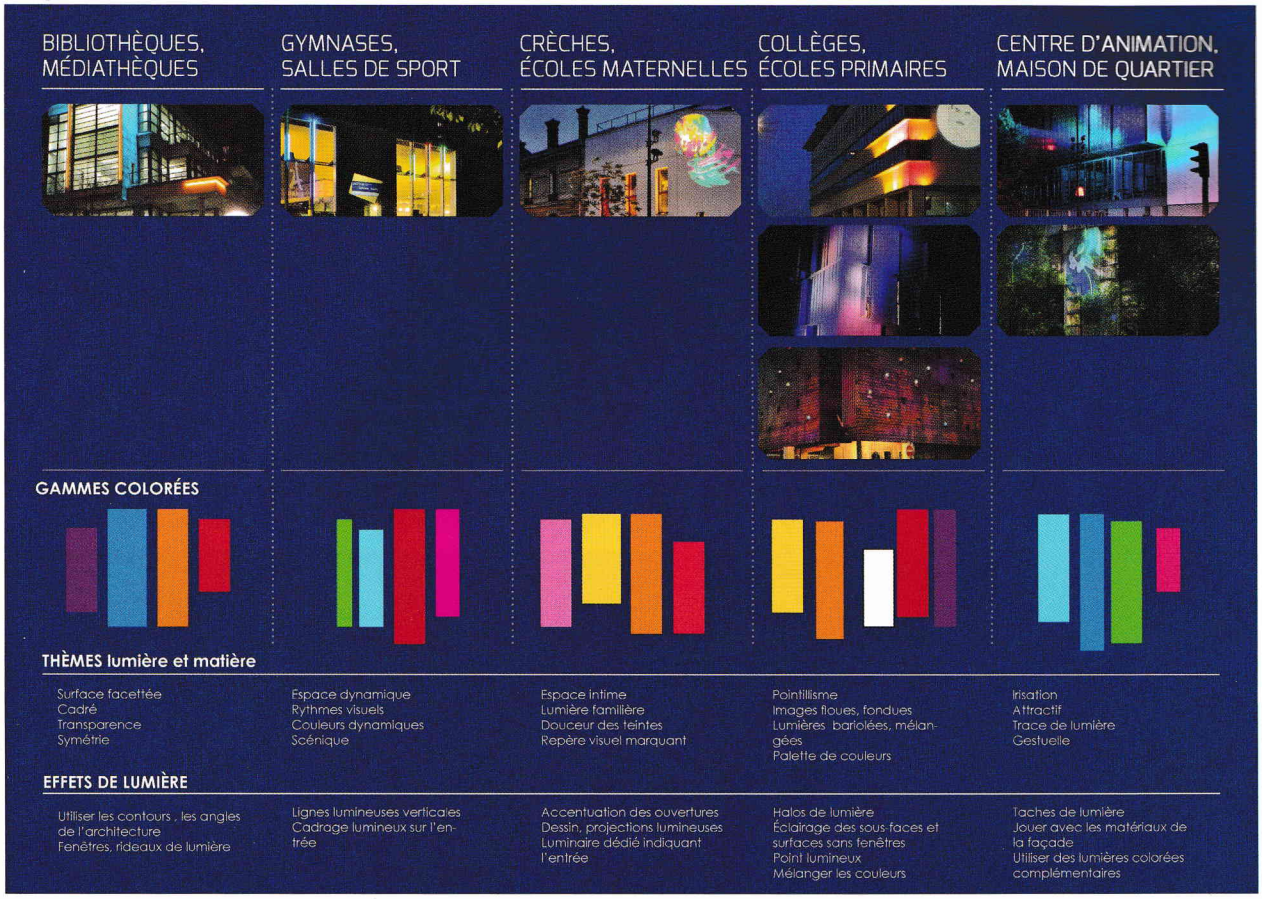
Le développement en cours et à venir des réalités virtuelles et augmentées va aussi modifier en profondeur la représentation des projets d'éclairage avec la possibilité de s'y promener et de choisir à loisir ses angles de vue. Mais, là encore, la faisabilité de la mise en lumière, le mode de vision diurne ou nocturne utilisé par l'observateur, la perception des contrastes, seront des éléments clés de la validation de ces projets.

9.7.2 Des reproductions et des études plus techniques

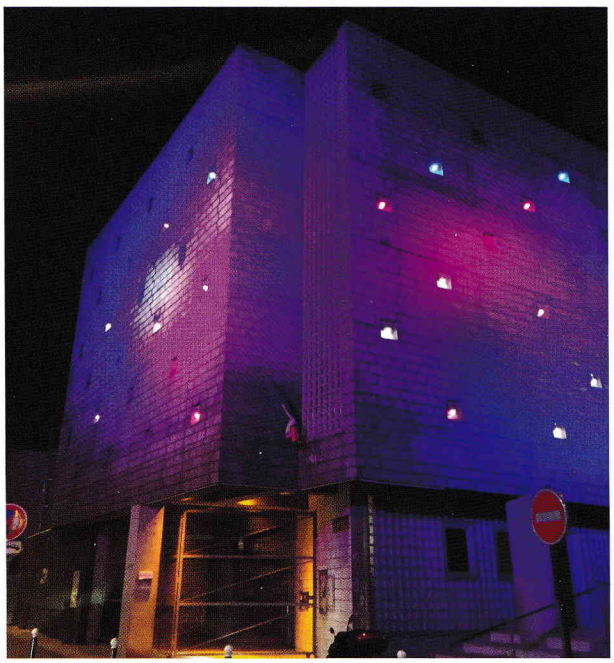
Comme nous l'avons vu, la conception d'un projet d'éclairage requiert à la fois des compétences artistiques et techniques. Au fur et à mesure de l'avancée du projet, il faut donc aussi représenter les choix techniques effectués, vérifier et exposer un certain nombre de données photométriques (voir § 7.1), y compris bien sûr celles qui répondent aux normes d'éclairement* exigées.

Une fois le concept d'éclairage approuvé, les appareils d'éclairage et les supports sont dessinés en plan ou sur un modèle 3D afin de préciser leur localisation dans le projet et s'assurer de la cohérence avec les autres éléments implantés (calepinage des sols, position des arbres, des réseaux électriques, des mobiliers urbains, etc.). Ces plans, coupes et détails techniques vont évoluer et être adaptés tout au long de l'étude du projet.

Une des particularités des projets d'éclairage réside dans les calculs photométriques qui doivent être réalisés et annexés au dossier de consultation des entreprises pour s'assurer ensuite, lors du chantier, de la conformité des choix techniques effectués en phases d'études. Ces calculs autrefois faits manuellement sont aujourd'hui informatisés et font l'objet de représentations graphiques colorées en échelle de couleurs explicites qui indiquent en plan les niveaux d'éclairement* et de luminance*, ou habillées d'effets lumineux. Des logiciels permettent également de réaliser



▲ **Fig. 9.9.** Tableau de la carte lumière : codes couleurs et équipements © Concepto



▲ **Photo 9.10.** École Le Grammat à Paris 15e © Concepto



▲ **Photo 9.11.** Collège Thomas-Mann à Paris
© Olivier Perrot et EVESA

Des modifications de typologies d'éclairage gagnent à être essayées par les habitants avant toute installation définitive. Un éclairage de cheminement initialement réalisé à l'aide de candélabres* de voirie de grande hauteur sera remplacé sur une centaine de mètres par un éclairage piétonnier dédié de faible hauteur ou d'un balisage au sol pour préserver au mieux la biodiversité.

Toutes ces expérimentations doivent être communiquées en amont aux habitants et aux riverains, sur site, à l'aide de panneaux explicatifs, et par les réseaux habituels de communication de la collectivité, et évaluées avant de décider de leur pérennisation, si elles sont massivement approuvées.

9.9.8 Mettre en place un urbanisme tactique nocturne

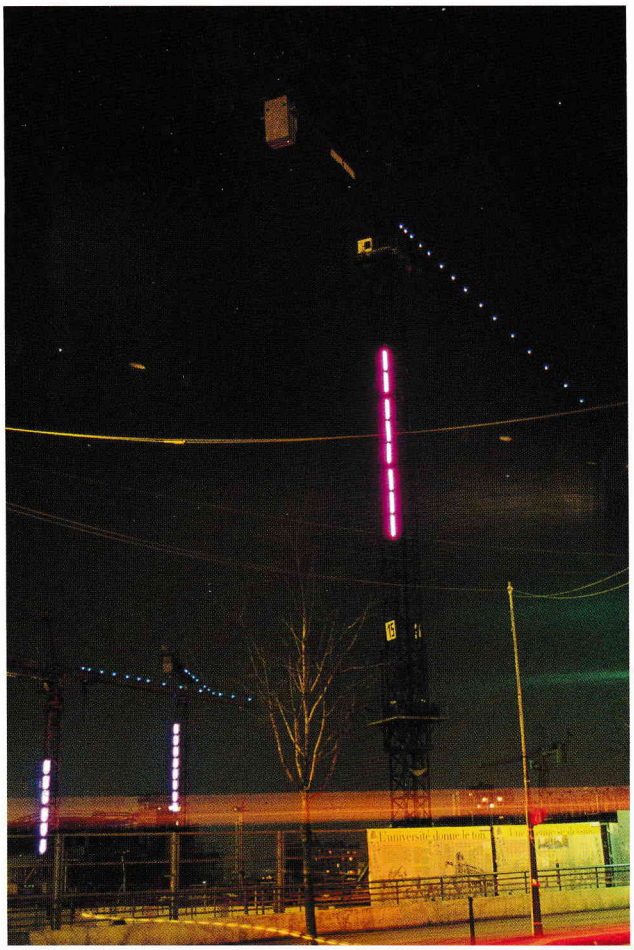
L'aménagement d'un site entraîne un changement lent et progressif du paysage urbain et ces enjeux de renouvellement sont souvent difficiles à percevoir par les habitants. La dimension nocturne de tels aménagements est également complexe à cerner et à visualiser.

L'urbanisme tactique permet de tester et de répondre à de nouveaux usages à l'aide d'aménagements provisoires et modulables. Il est participatif, éphémère, citoyen et caractérisé par sa petite échelle, son coût réduit et une réalisation à court terme. Il encourage les questionnements sur les évolutions des usages en ville.

Dès sa naissance, la lumière urbaine a montré qu'elle pouvait permettre de préfigurer la transformation d'un site, révéler un enjeu urbain ou faire redécouvrir un territoire méconnu, grâce à son pouvoir d'attraction, sa dimension symbolique et sa capacité à signifier des intentions.

L'éclairage, grâce à sa dimension poétique, peut être aussi un outil performant pour révéler l'invisible, affirmer des lignes de force, transfigurer un site, illustrer son évolution, modifier positivement le regard nocturne porté par les usagers sur leur environnement actuel et futur (photo 9.17).

Il faut donc poursuivre ce travail de préfiguration par la mise en place d'un urbanisme tactique nocturne dédié, afin de tester, d'expérimenter et de faire accepter par les usagers et les services techniques des alternatives à l'éclairage public traditionnel. Des outils de communication innovants (carte interactive, QR code, questionnaire en ligne, atelier de travail) vont aussi inviter les usagers à donner leurs impressions pour entériner les expérimentations proposées.

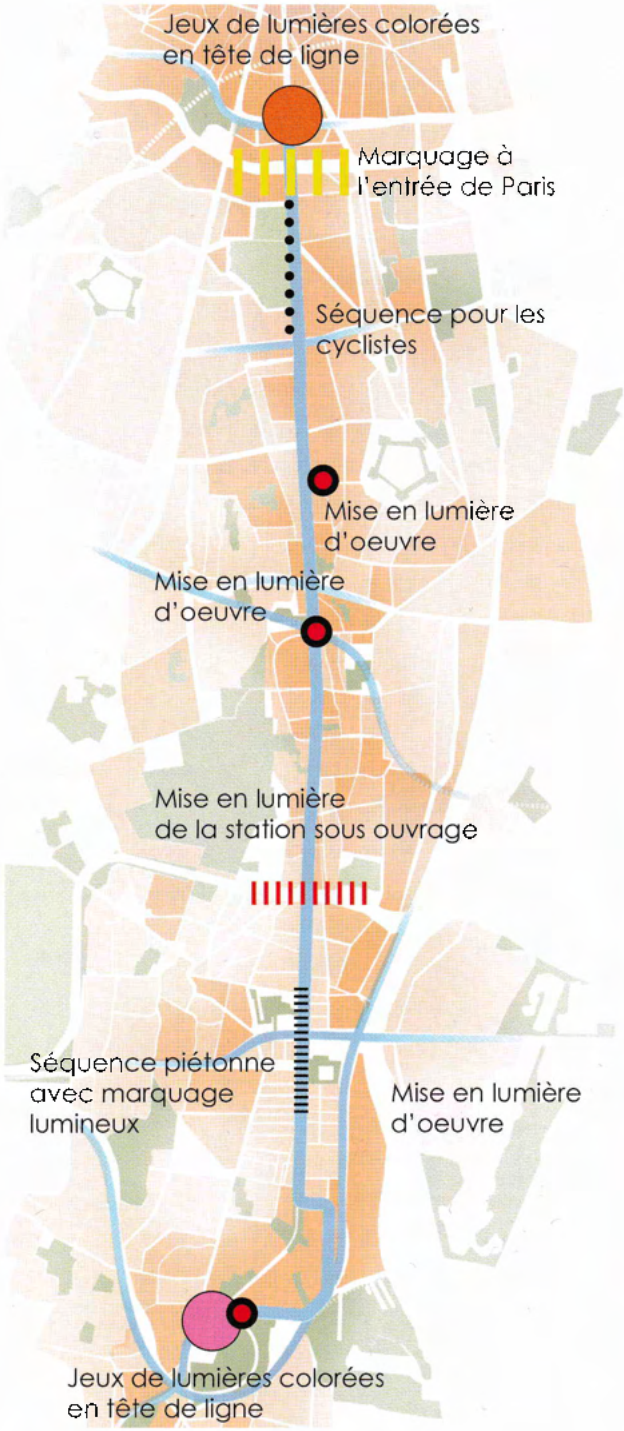


▲ **Photo 9.17.** Grues de chantier à Paris Tolbiac, 13e © Concepto

9.9.9 Impliquer demain les citoyens

Dans un futur proche, on peut imaginer laisser les citoyens participer activement à la conception et à l'élaboration de leur éclairage public, et décider en temps réel sur un site des niveaux lumineux, des tonalités de lumière ou des types d'éclairage, à l'aide d'applications dédiées pour smartphones ou en interagissant directement avec les ambiances lumineuses proposées.

Une véritable démocratisation de l'éclairage des espaces publics et du paysage peut être alors envisagée à terme, pour que les usagers puissent s'affranchir réellement des choix des techniciens, mis en œuvre encore trop souvent sans débat citoyen.

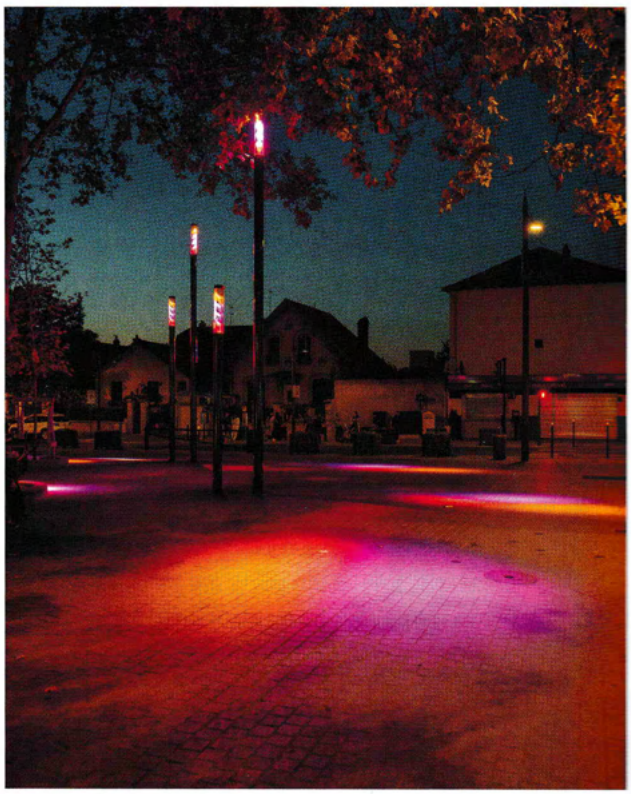


▲ La ligne de tramway est jalonnée de mises en lumière des œuvres d'art rencontrées et de séquences lumineuses qui soulignent les parcours piétons et cycles © Concepto

écriture nocturne d'ensemble clairement identifiable, mais aussi la création de séquences variées qui rythment le trajet et proposent aux usagers des découvertes nocturnes différentes.

L'équipe de conception lumière a choisi dès le début des études d'imaginer des ambiances lumineuses inclusives, colorées et graphiques, qui accompagnent les usages nocturnes* et favorisent le jeu, les interactions et la joie.

Les usagers ont donc été positionnés au cœur du projet d'éclairage pour qu'ils s'approprient au mieux les espaces publics nocturnes tout au long de ce nouvel axe métropolitain. Ainsi, tout le monde peut investir les espaces singuliers qui bordent le tramway. Des plages colorées invitent à ralentir et à se poser sur un banc. Des motifs floraux projetés au sol guident les cyclistes le long du cimetière d'Ivry-sur-Seine.

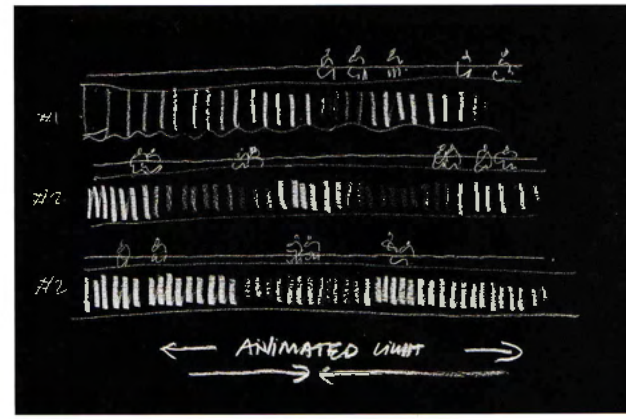


▲ Des ambiances lumineuses colorées et graphiques ponctuent et animent les parcours piétons © Concepto

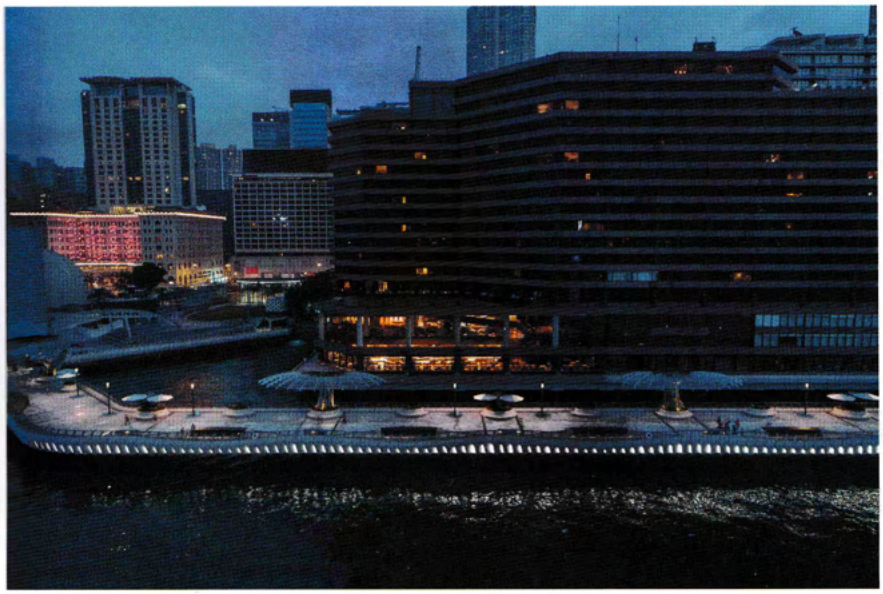


▲ Axonométrie nocturne de l'ensemble du site © Speirs Major

La conception lumière de l'avenue des Étoiles a permis de créer un point de repère extrêmement visible de loin, tout en proposant un environnement sûr et apaisant la nuit.
L'éclairage dissimulé à l'intérieur du revêtement de la promenade éclaire doucement l'eau qui coule sous les pas des piétons, après la tombée de la nuit.
Le mur du port qui mène du jardin de Salisbury à la promenade Tsim Sha Tsui ondule délicatement sous l'effet du clapotis d'une douce lumière blanche. Les différentes strates de lumière, connectées aux mouvements et à l'animation de l'eau, affirment la présence de ce nouveau paysage maritime nocturne, visible depuis l'autre côté du port.

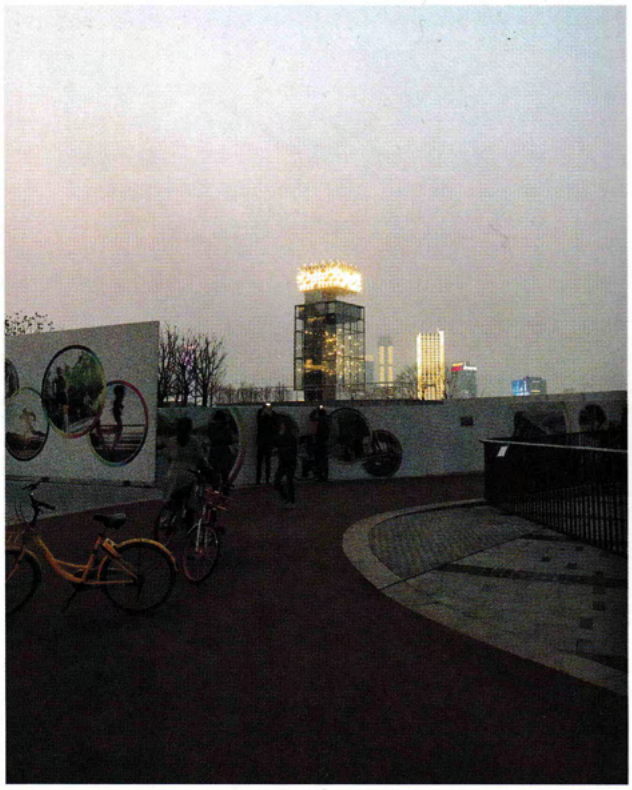


▲ Croquis de l'animation lumineuse ondulée proposée sur le mur du port © Speirs Major

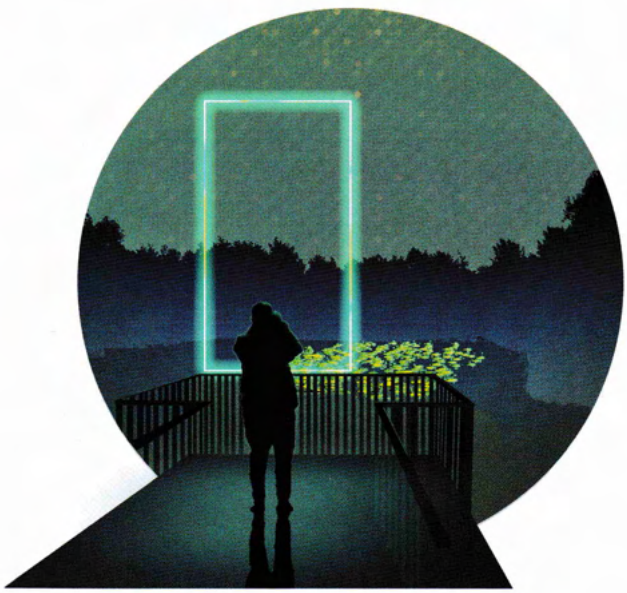


◀ Le bord de mer illuminé © Jackie Chan

La lumière s'adoucit progressivement dans les espaces naturels et se calme pour laisser l'obscurité régner au cœur de la nature. Des variations de couleur ambre soulignent les arbres sur la berge et des lumières de couleur bleu-vert révèlent les plantes près de l'eau.
La surface aquatique agit en complément comme un miroir déformant qui duplique le paysage fluvial proposé et crée d'étonnants reflets lumineux pour donner une présence encore plus intense à ce dessin fragile de 21 km de long.
Les quatre tours lumière réalisées aujourd'hui (sur les 21 initialement proposées), disposées tous les kilomètres et visibles de très loin, signent de nuit le bord de l'eau, révèlent l'énergie de la ville et l'activité nocturne de ses habitants et offrent depuis leurs terrasses une vue imprenable sur le fleuve.



Le chantier a été très populaire auprès des habitants de Shanghai
© Floriane Deléglise ▶



▲ Croquis de l'une des scènes nocturnes proposées
© Fanny Guérard, Concepto



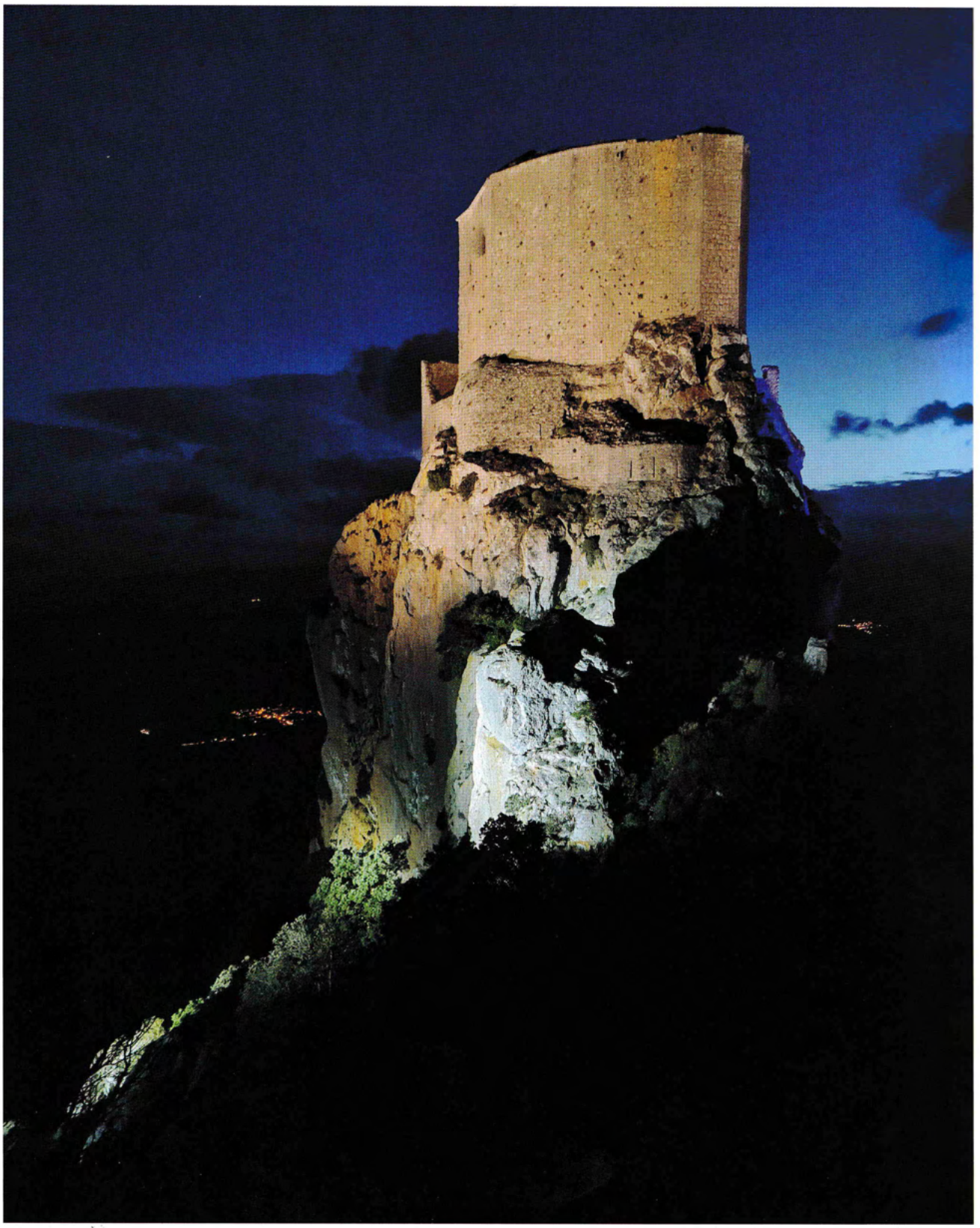
▲ Croquis de l'une des mobilités nocturnes proposées
© Giovanni Palacino, Concepto

Le passage souterrain Jean Monnet qui permet de relier les deux grands espaces de la place est illuminé avec des appareils d'éclairage qui permettent différents scénarios à l'aide de variations de blancs chauds et des changements de couleurs, en accord avec ceux de la place. Le niveau d'éclairement* sous l'ouvrage a été doublé par rapport à celui existant précédemment.

Sur le parvis de l'hôtel de ville, comme sur les placettes Glasgow et Jean-Jaurès, des projecteurs à gobo*, installés sur quatre mâts de 8 m de hauteur, créent au sol des images traversées par les passants qui changent au fil des saisons.



▲ Le passage souterrain Jean Monnet illuminé avec différents scénarios colorés © Soizick Bihen



▲ Vue ouest nocturne du château de Quéribus © Wonderfulight

Glossaire

Les termes du glossaires sont identifiés dans le texte par un astérisque.

Ambiance lumineuse nocturne
Résultat d'une interaction entre une ou des lumières, un individu, un espace et un usage, elle provient d'un éclairage naturel nocturne ou artificiel et influence momentanément ou durablement la perception du lieu éclairé.

Association des concepteurs lumière et éclairagistes (ACE)
Créée en 1995, l'ACE a pour but de promouvoir le matériau lumière et la profession de concepteur lumière et éclairagiste indépendant. Elle compte aujourd'hui environ 90 membres dont les profils reflètent l'évolution et la richesse de la profession.

Bioluminescence
La bioluminescence est la production et l'émission de lumière par un organisme vivant *via* une réaction chimique au cours de laquelle l'énergie chimique est convertie en énergie lumineuse. (*source Wikipedia*)

Calcul d'éclairement
Opération anciennement manuelle et aujourd'hui informatique, il permet de calculer des niveaux d'éclairement ponctuels ou moyens sur une surface donnée.

Candélabre
Ce support destiné à porter un ou plusieurs luminaires est constitué d'un fût et éventuellement d'une réhausse ou d'une crosse. Ce terme tend à désigner aujourd'hui l'ensemble support et appareil d'éclairage public.

Colonne lumineuse
C'est un candélabre piétonnier formé d'un mât (à section circulaire, carrée ou parallélépipédique), surmonté d'un luminaire cylindrique ou cylindro-conique. Autrefois translucide, il émettait une lumière diffuse, visible dans les perspectives nocturnes. Il est aujourd'hui obligatoirement transparent (en tout ou partie) pour éclairer le sol et ne pas générer de flux lumineux parasite ou dirigé vers le ciel. La partie lumineuse peut aussi intégrer des mini-projecteurs orientables ou fixes.

Concepteur lumière
Le concepteur lumière est un professionnel indépendant spécialisé dans l'étude et le suivi de mise en œuvre de projets de mises en lumière pérennes, à l'échelle de la ville et de l'architecture.

Durée de vie
Elle correspond pour une source artificielle au temps, exprimé en heures, durant laquelle elle a fonctionné avant d'être mise hors d'usage (ou d'être considérée comme telle).

Éblouissement
Il s'agit d'un phénomène qui provoque une perturbation des conditions de vision, perturbation qui ne trouble pas nécessairement la vue, on l'appelle alors *éblouissement inconfortable*, ou perturbation qui trouble la vue, appelé *éblouissement d'incapacité*. L'éblouissement fait naître un sentiment d'inconfort voire d'insécurité pour la conduite automobile. Il est fonction de la luminance de la source, du projecteur ou de la surface observée, de sa position dans le champ visuel et du rapport entre cette luminance et la luminance du fond. (*source AFE*)

Éclairage intelligent
Grace aux avancées technologiques dans le domaine des objets et des réseaux connectés, de l'informatique et des nouvelles sources lumineuses LED, l'éclairage public acquiert de nouvelles possibilités : pilotage personnalisé et à distance des abaissements de puissances, de la gradation ou de l'extinction en fonction des heures souhaitées, remontées d'informations des pannes et des dysfonctionnements, données de consommation électrique, optimisation du niveau d'éclairement en fonction du site environnant et de la densité d'usagers.
De plus, compte tenu du maillage dense des luminaires et des supports dans le domaine public, ceux-ci peuvent aussi devenir des organes communicants (informations montantes ou descendantes, signaux, capteurs, annonces, etc.).

Éclairage privé et domestique
L'éclairage est un moyen permettant d'éclairer. Il est privé lorsqu'il concerne l'éclairage des commerces (y compris, les éclairages des devantures, des vitrines, des enseignes et des publicités lumineuses) et domestique lorsqu'il concerne les maisons ou les appartements et leurs espaces extérieurs (jardins, terrasses, balcons).

Éclairement
Il permet de quantifier la lumière reçue par une surface. Il est indépendant de la nature de la surface et est exprimé en lux. L'éclairement moyen sur une surface est le quotient du flux lumineux reçu par une surface par l'aire de cette surface. On parle aussi d'éclairement ponctuel (éclairement en

Index

A

Accessibilité, 49, 80
Alimentation
- autonome, 170
- autonome photovoltaïque, 174
- centralisée, 170
- électrique (norme), 49

Allumage, 109
- à la demande, 82
- automatique, 216

Ambiance
- lumineuse, 29, 39, 74, 84, 125, 150, 196
- lumineuse graphique, 103, 158
- lumineuse inclusive, 158
- lumineuse liée aux usages, 182
- lumineuse nocturne, 15, 18, 30
- lumineuse projetée, 30
- nocturne, 21, 71, 140, 170

Analyse
- du cycle de vie, 115
- sensible, 29

Appareil
- à optique asymétrique, 86
- décoratif, 104
- encastré de sol, 71, 77
- encastré RGBW, 206
- étanche, 86
- intégré, 81
- linéaire, 86, 103
- linéaire encastré, 81
- submersible, 86

Application
- numérique, 150
- smartphone, 112

Applique, 104
Armoire de commande, 110, 168
Assistance
- au contrat de travaux (ACT), 53
- aux opérations de réception (AOR), 54

Association des concepteurs lumière et éclairagistes (ACE), 14, 168
Association française de l'éclairage (AFE), 23
Atelier de travail, 136
Avant-projet sommaire (APS), 51

B

Balisage
- au sol, 85
- encastré de sol, 87
- lumineux, 71

Balise, 104
- LED, 170, 174

Ballast, 110
Banc lumineux, 179
Base de données, 75
Batterie intégrée, 174
Berne, Georges, 14
Bideau, Pierre, 14
Bilan énergétique, 51
Billard, Jacques, 88
Biodiversité, 72, 75, 80, 82, 103
- nocturne, 15, 18, 22, 35, 65, 80, 97

Bioluminescence, 141, 216
Bloch, Jean-Thierry, 20
Borne
- basse, 80, 107, 108
- lumineuse, 219

Brillance, 126
Building Information Modeling (BIM), 51

C

Cahier des clauses techniques et particulières (CCTP), 53
Calcul d'éclairement, 51
Candela, 91
Candélabre, 12, 20, 64, 68, 70, 105, 108, 150
- de voirie, 86, 105
- LED graduable, 174
- piétonnier, 80, 85

Capteur, 192
- photovoltaïque, 71, 170

Carte thématique, 31
Cartographie, 130
Caténaire, 178
Centralités urbaines, 153
Champ visuel, 48
Charte lumière, 41
Circulation sécurisée, 45
Clair, Louis, 14
Colonne
- en bois, 164
- lumineuse, 106, 108

Comité national de protection du ciel nocturne (CNPCN), 15
Commission internationale de l'éclairage (CIE), 23
Composition spectrale, 48
Concepteur lumière, 14, 15, 19, 20, 33, 34, 122
Concertation, 72, 137
Confort visuel, 103
Console, 106, 108
Contre-plongée, 77, 78, 103, 166, 196, 211
Contrôleur du point lumineux, 110
Corridor écologique, 34
Couleur de lumière, 96
Courbe
- isolux, 93
- photométrique, 91
- spectrale, 96

Crosse, 102, 105

D

Détecteur, 80
Détection de présence, 85
Diagnostic
- nocturne, 28, 29, 136, 149
- sensible, 149
- technique, 28

Digital adressable lighting interface (DALI), 111
Digital multiplexing (DMX), 111
Direction d'éclairage, 58
Dossier
- de consultation des entreprises (DCE), 53
- des ouvrages exécutés (DOE), 54

Dramaturgie des éclairages, 61
Driver de LED, 110
Drone lumineux, 141
Durée de vie moyenne, 95, 113