Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement,
des transports, de l'énergie et de la communication DETEC

Office fédéral de l'environnement OFEV
Division Bruit et RNI

Etat: 19.05.2017

N° de référence : Q111-1751

Émissions lumineuses : aide à l'exécution (projet pour consultation)

Consultation

Délai:	30 juin 2017
Par courriel:	licht@bafu.admin.ch
Ou par courrier postal:	Office fédéral de l'environnement OFEV Division Bruit et RNI 3003 Berne

Valeur juridique

La présente publication est une aide à l'exécution élaborée par l'OFEV en tant qu'autorité de surveillance. Destinée en premier lieu aux autorités d'exécution, elle concrétise des notions juridiques indéterminées provenant de lois et d'ordonnances et favorise ainsi une application uniforme de la législation. Si les autorités d'exécution en tiennent compte, elles peuvent partir du principe que leurs décisions seront conformes au droit fédéral. D'autres solutions sont aussi licites dans la mesure où elles sont conformes au droit en vigueur. Les aides à l'exécution de l'OFEV (appelées jusqu'à présent aussi directives, instructions, recommandations, manuels, aides pratiques) paraissent dans la collection « L'environnement pratique ».

Impressum

Éditeur
Office fédéral de l'environnement OFEV
L'OFEV est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

Renseignements
licht@bafu.admin.ch

Auteurs
Alexander Reichenbach, Division Bruit et RNI, OFEV
Dr. Jürg Baumann, Division Bruit et RNI, OFEV
Danielle Hofmann, Division Espèces, écosystèmes, paysages, OFEV
Julius Nötzli, Division Droit, OFEV
Dr. Jennifer Vonlanthen, Division Droit, OFEV
Benedict Wyss-Käppeli, Division Bruit et RNI, OFEV

Accompagnement à l'OFEV

Direction	Urs Walker, Division Bruit et RNI, OFEV
Organes fédéraux	Hans-Jörg Birrer, Office fédéral du sport OFSPO
	Dr Kurt Bisang, Office fédéral de l'énergie OFEN
	Dr Peter Blattner, Institut fédéral de métrologie METAS
	Siegfried Burkhalter, Office fédéral des constructions et de la logistique OFCL, représentant de la Conférence de coordination des services de la construction et des immeubles des maîtres d'ouvrage publics KBOB
Cantons	Stephan Breuer, Office des ponts et chaussées OPC du canton de Berne, représentant de la Conférence des ingénieurs cantonaux CIC
	Dr Odile Bruggisser, Amt für Raumplanung Kanton Solothurn, représentante de la Conférence des délégués à la protection de la nature et du paysage CDPNP
	Marcel Mössner, Lufthygieneamt beider Basel
Villes et communes	Daniel Lehmann Pollheimer, Organisation Infrastructures communales OIC

Référence bibliographique
OFEV (éd.) 201x: Émissions lumineuses : aide à l'exécution. Office fédéral de l'environnement, Berne. L'environnement pratique n°: 134 p.

Graphisme, mise en page

Crédit photo

Téléchargement au format PDF
www.bafu.admin.ch/uv-xx-yy
Il n'est pas possible de commander une version imprimée.
Cette publication est également disponible en allemand et italien.
© OFEV 201x

322.3-48363//Q111-1751

Accès rapide à l'aide à l'exécution concernant les émissions lumineuses

Quoi?	**Où?** (références cliquables)
Situation générale :	
— Sources de lumière artificielle dans l'environnement la nuit	→ Tableau 1, chap. 1.6
— Sources d'émissions lumineuses artificielles durant la journée	→ Tableau 2, chap. 1.6
— Émissions et immissions	→ chap. 1.5, Figure 1
— Conflits d'objectifs et synergies :	→ annexe A2
— Sport, tourisme et éclairages publicitaires	→ A2.1 ; A2.2
— Sécurité (sécurité routière, sécurité du point de vue de la criminalité, sentiment subjectif de sécurité)	→ A2.3
— Les diodes électroluminescentes (LED)	→ A2.4
— L'efficacité énergétique	→ A2.5
— Plans d'éclairage (« Plan Lumière »)	→ A4
Conséquences des émissions lumineuses pour :	
— l'homme	→ A3.1
— le paysage nocturne	→ A3.2
— la nature (faune, flore et millieux naturels)	→ A3.3
Aspects juridiques:	
— Vue d'ensemble des dispositions du droit fédéral	→ chap. 1.7
— Explications juridiques complètes	→ A1
— Normes (suisses et étrangères)	→ A1.4
— Installations d'éclairage soumises à autorisation	→ chap. 2.4
— Installations d'éclairage non soumises à autorisation	→ chap. 2.5
— Traitement des réclamations	→ chap. 2.6
Limitation des émissions lumineuses dans la nuit :	
— Plan en sept points visant à limiter les émissions lumineuses	→ chap. 2.1, Figure 2
— Plan d'éclairage de grande envergure	→ chap. 2.2
— Mesures générales (plan en sept points)	→ chap. 2.3
— Mesures spécifiques concernant :	
— Éclairage publique	→ chap. 3.1
— Éclairage des gares	→ chap. 3.2
— Infrastructures sportives	→ chap. 3.3
— Éclairage pour l'industrie et les entreprises (travail à l'extérieur)	→ chap. 3.4
— Places publiques	→ chap. 3.5
— Bâtiments et installations publics	→ chap. 3.6
— Éclairages publicitaires	→ chap. 3.7
— Bâtiments et installations privés, illuminations de Noël	→ chap. 3.8
— Éclairages dans l'espace naturel	→ chap. 3.9
Évaluation de l'effet incommodant des immissions lumineuses pour l'homme (valeurs indicatives) :	→ chap. 4
— Zones environnantes	→ chap. 4.2
— Illumination des locaux	→ chap. 4.3
— Éblouissement incommodant durant la nuit	→ chap. 4.4
Limitation des émissions lumineuses durant la journée :	
— Réflexion de la lumière du soleil sur des surfaces artificielles	→ chap. 5.1
— Effets des éoliennes sur la lumière	→ chap. 5.2
Glossaire: termes techniques	→ A5

Sommaire

1 Introduction : la lumière artificielle dans l'environnement ... 9
1.1 Situation générale ... 9
1.2 But de l'aide à l'exécution ... 9
1.3 Destinataires de l'aide à l'exécution ... 9
1.4 Champ d'application de l'aide à l'exécution ... 10
1.5 Émissions et immissions ... 10
1.6 Sources d'émissions lumineuses ... 11
1.7 Dispositions du droit fédéral concernant la limitation des émissions lumineuses ... 13
2 Recommandations d'ordre général pour la limitation des émissions lumineuses la nuit ... 16
2.1 Introduction ... 16
2.2 Mesures de planification (plan d'éclairage de grande envergure) ... 18
2.2.1 Généralités ... 18
2.2.2 Plans d'éclairage ... 19
2.2.3 Prise en compte des alentours dans la phase de planification ... 24
2.3 Plan en sept points visant à limiter les émissions lumineuses ... 25
2.3.1 Nécessité ... 25
2.3.2 Gestion dans le temps / système de commande ... 25
2.3.3 Intensité / clarté ... 25
2.3.4 Spectre lumineux / couleur de la lumière ... 25
2.3.5 Choix et positionnement des lampes ... 26
2.3.6 Orientation de l'éclairage ... 26
2.3.7 Écrans protecteurs ... 27
2.4 Installations d'éclairage soumises à autorisation ... 27
2.5 Installations d'éclairage non soumises à autorisation ... 30
2.6 Traitement des réclamations ... 31
3 Mesures spécifiques pour diverses situations et installations d'éclairage ... 33
3.1 Infrastructures de transport routier (éclairage public) ... 33
3.1.1 Généralités ... 33
3.1.2 Normes pour l'éclairage public ... 34
3.1.3 Recommandations pour la procédure de planification des éclairages publics ... 36
3.1.4 Mesures de limitation des émissions des éclairages publics ... 37
3.2 Autres infrastructures de transport (gares, arrêts de transports publics, etc.) ... 41
3.2.1 Généralités ... 41
3.2.2 Arrêt principal du Tribunal fédéral concernant l'éclairage d'une gare (ATF 140 II 214) ... 42
3.2.3 Recommandations destinées aux autorités chargées d'autoriser les éclairages d'autres infrastructures de transport (gares, arrêts de transports publics, etc.) ... 43
3.3 Infrastructures sportives ... 44
3.3.1 Généralités ... 44
3.3.2 Infrastructures sportives en zone bâtie ... 44

3.3.3 Infrastructures sportives en milieu naturel ... 47
3.4 Installations industrielles, chantiers et lieux de travail extérieurs ... 51
3.4.1 Généralités ... 51
3.4.2 Recommandations pour la limitation des émissions lors de l'éclairage d'installations industrielles, de chantiers et de lieux de travail extérieurs ... 51
3.5 Espaces et places publics ... 53
3.5.1 Généralités ... 53
3.5.2 Recommandations pour la limitation des émissions lors de l'éclairage d'espaces et de places publics ... 53
3.6 Bâtiments et objets publics ... 56
3.6.1 Généralités ... 56
3.6.2 Procédé de projection de lumière ... 56
3.6.3 Recommandations pour la limitation des émissions lors de l'éclairage d'objets et de façades de bâtiments publics ... 57
3.6.4 Recommandations pour la limitation des émissions lumineuses émanant directement de grands bâtiments publics ... 60
3.7 Éclairages publicitaires ... 61
3.7.1 Généralités ... 61
3.7.2 Recommandations pour la limitation des émissions des publicités lumineuses ... 62
3.8 Bâtiments et installations privés, illuminations de Noël ... 66
3.8.1 Généralités ... 66
3.8.2 Arrêts du Tribunal fédéral concernant les éclairages décoratifs et illuminations de Noël ... 67
3.8.3 Recommandations aux autorités pour le traitement des éclairages de bâtiments et installations privés ... 68
3.8.4 Mesures de limitation des émissions des éclairages de bâtiments et installations privés ... 68
3.8.5 Utilisation mesurée de la lumière pour empêcher les cambriolages ... 70
3.9 Éclairages en milieu naturel ... 72
3.9.1 Généralités ... 72
3.9.2 Plan en sept points visant à protéger les espèces et habitats sensibles à la lumière contre les émissions lumineuses ... 72
4 Recommandations concernant l'évaluation de l'effet incommodant des immissions lumineuses pour l'homme (valeurs indicatives) ... 77
4.1 Généralités ... 77
4.2 Zones environnantes ... 77
4.3 Illumination des locaux ... 77
4.3.1 Généralités ... 77
4.3.2 Évaluation de l'illumination des locaux durant la période de tranquillité ... 78
4.3.3 Évaluation de l'illumination des locaux en dehors de la période de tranquillité ... 80
4.4 Éblouissement incommodant durant la nuit ... 82
4.4.1 Généralités ... 82
4.4.2 Évaluation de l'éblouissement incommodant ... 83
5 Recommandations concernant la limitation des émissions lumineuses durant la journée ... 87

5.1 Réflexion de la lumière du soleil ... 87
5.1.1 Généralités ... 87
5.1.2 Remarques concernant l'évaluation ... 88
5.2 Effets des éoliennes sur la lumière ... 88
5.2.1 Généralités ... 88
5.2.2 Remarques concernant l'évaluation ... 88
6 Annexe ... 90
A1 Cadre légal ... 90
A1.1 Généralités ... 90
A1.2 Bases légales de la Confédération ... 90
A1.2.1 Protection de l'homme et de l'environnement (loi sur la protection de l'environnement [LPE]) ... 90
A1.2.2 Protection du paysage (loi sur la protection de la nature et du paysage [LPN]) ... 92
A1.2.3 Protection de la biodiversité (LPN, loi sur la chasse [LChP], loi sur la pêche [LFSP]) ... 92
A1.2.4 Aménagement du territoire et procédure d'autorisation de construire (loi sur l'aménagement du territoire [LAT]) ... 93
A1.2.5 Autres dispositions du droit fédéral ... 93
A1.3 Réglementations cantonales et communales ... 94
A1.4 Normes et recommandations ... 94
A1.4.1 Norme internationale ... 95
A1.4.2 Normes suisses ... 95
A1.4.3 Normes et recommandations étrangères ... 96
A2 Conflits d'objectifs et synergies ... 98
A2.1 Sport et tourisme ... 98
A2.2 Éclairages publicitaires ... 99
A2.3 Sécurité ... 100
A2.3.1 Sécurité au travail ... 100
A2.3.2 Sécurité routière ... 101
A2.3.3 Sécurité du point de vue de la criminalité ... 102
A2.3.4 Sentiment subjectif de sécurité ... 103
A2.4 Les diodes électroluminescentes (LED) dans l'éclairage extérieur ... 105
A2.5 L'efficacité énergétique grâce à une commande intelligente de l'éclairage public ... 108
A3 Les conséquences des émissions lumineuses ... 111
A3.1 Conséquences pour l'homme ... 111
A3.1.1 Généralités ... 111
A3.1.2 Éblouissement ... 111
A3.1.3 Éblouissement incommodant durant la nuit ... 111
A3.1.4 Illumination des locaux ... 112
A3.1.5 Effets chronobiologiques ... 112
A3.2 Conséquences pour le paysage nocturne ... 112

A3.3 Effets sur la nature 114
A3.3.1 Généralitès 114
A3.3.2 Effets sur la faune et la flore 115
A3.3.3 Effets sur les millieux naturels 121
A4 Plans d'éclairage (« Plan Lumière ») 122
A4.1 Généralités 122
A4.2 Marche à suivre pour l'établissement d'un plan d'éclairage de grande envergure 122
A5 Glossaire 125
A6 Bibliographie 128

1 Introduction : la lumière artificielle dans l'environnement

1.1 Situation générale

En Suisse, la population se sent de plus en plus dérangée par les émissions lumineuses, qu'elles soient liées à l'éclairage nocturne extérieur ou à la réflexion de la lumière du soleil sur des surfaces artificielles telles que façades de verre, revêtements métalliques ou installations photovoltaïques. Cette évolution a même mené à l'ouverture d'actions devant le Tribunal fédéral. En raison de l'adoption de nouvelles technologies offrant une plus forte intensité lumineuse et de l'éclairage croissant des espaces extérieurs induit par la réduction des coûts, cette thématique a gagné en importance ces dernières années. En Suisse, les émissions lumineuses dirigées et reflétées vers le ciel ont ainsi plus que doublé entre 1994 et 2012.

Dans le langage courant, l'invasion de notre espace de vie par la lumière artificielle est souvent qualifiée de « pollution lumineuse ». Celle-ci prend un aspect concret lorsque la lumière des villes, des agglomérations, des bâtiments et des installations est reflétée par les gouttelettes d'eau du brouillard, de la brume ou de la couverture nuageuse de basse altitude, formant un halo lumineux sur toute une région. Des études ont montré que ces halos perturbent le sens de l'orientation des oiseaux migrateurs volant de nuit et qu'ils peuvent les dévier de leur itinéraire. De plus, les sources de lumière locales peuvent aussi nuire aux animaux nocturnes, en morcelant leurs habitats, diminuant leur rayon d'action et réduisant la nourriture à leur disposition.

Ces dernières années, alors que les tribunaux prenaient de nouvelles décisions relevant du droit de l'environnement, de nouvelles normes ont été publiées pour l'éclairage extérieur. En outre, de nombreuses innovations permettent de produire de la lumière en fonction des besoins, grâce à un pilotage actif intelligent des installations. La présente aide à l'exécution doit tenir compte de ces nouveaux éléments, en gardant toutefois à l'esprit que les technologies d'éclairage vont continuer à évoluer ces prochains temps et qu'il n'est pas encore possible d'évaluer entièrement leurs futurs impacts sur la nature et sur l'homme, en raison de la période restreinte pendant laquelle ces dispositifs novateurs ont été utilisés.

1.2 But de l'aide à l'exécution

La présente aide à l'exécution a pour but de contribuer à éviter les émissions de lumière superflues ou – exprimé de manière plus familière – à réduire la « pollution lumineuse ».

À cet effet, elle doit permettre aux acteurs concernés par la planification, l'autorisation ou l'exploitation d'installations d'éclairage de prendre des mesures visant à éviter ou à réduire les émissions lumineuses (voir chap. 2 et 3).

Par ailleurs, l'aide à l'exécution doit servir de référence lorsqu'il s'agit d'évaluer, pour un cas concret, si les immissions lumineuses qui pénètrent de l'extérieur dans des pièces d'habitation (à partir de sources lumineuses situées dans l'environnement) sont incommodantes au sens de la loi sur la protection de l'environnement (LPE ; voir chap. 4).

Enfin, elle doit contribuer à sensibiliser ses destinataires à la thématique qu'elle aborde : à cette fin, elle propose des informations d'ordre général (annexes A1 et A2) et en met en évidence les effets possibles des émissions lumineuses sur l'homme et sur l'environnement (annexe A3).

1.3 Destinataires de l'aide à l'exécution

La présente aide à l'exécution s'adresse en premier lieu **aux autorités communales, cantonales ou fédérales** chargées d'exécuter le droit de l'environnement et donc aussi **d'évaluer les dispositifs d'éclairage extérieur**.

De manière indirecte, elle s'adresse également aux **bureaux d'ingénieurs, aux bureaux d'études environnementales, aux maîtres d'ouvrages et aux planificateurs éclairagistes** qui sont impliqués dans la planification, le montage ou l'exploitation d'installations d'éclairage, ou mènent des

études et élaborent de la documentation dans le cadre de procédures d'autorisation. L'aide à l'exécution précise à ces acteurs ce que les autorités prennent en considération lors de l'appréciation et de l'évaluation des projets, et leur indique comment préparer la documentation de leurs requêtes.

Enfin, cette publication est aussi utile aux **propriétaires et exploitants d'installations d'éclairage**, puisqu'elle leur indique comment aménager leurs équipements afin que ceux-ci ne produisent pas d'émissions lumineuses superflues et respectent les exigences du droit de l'environnement.

1.4 Champ d'application de l'aide à l'exécution

La présente aide à l'exécution n'introduit aucune nouvelle disposition légale. Les exigences de la LPE et d'autres lois fédérales, comme la loi sur la protection de la nature et du paysage (LPN), touchant à la limitation des émissions lumineuses existaient déjà auparavant et continuent de s'appliquer de manière identique, mais elles étaient peu concrètes jusqu'ici.

Il est recommandé d'appliquer cette aide à l'exécution :

— lors de la construction de nouvelles installations d'éclairage,

— lors de la rénovation (totale) d'installations d'éclairage existantes, ainsi que

— dans le cadre de procédures de recours, en cas de réclamations ainsi que dans toutes les situations où les autorités sont impliquées d'office.

1.5 Émissions et immissions

La protection de l'environnement fait fréquemment la distinction entre « émissions » et « immissions » (voir Figure 1) :

— Par **émissions**, on entend l'ensemble de la lumière diffusée par une source (un lampadaire, par exemple). Dans le cas idéal, cette lumière sert entièrement au but d'éclairage prévu. Dans la réalité, toutefois, en fonction du type de construction du dispositif, une certaine proportion des émissions part directement vers le ciel ou illumine des secteurs situés en dehors de la surface visée. Cette partie constitue des émissions indésirables, qu'il convient d'éviter.

— Les **immissions**, de leur côté, correspondent à la lumière qui parvient en un lieu (par exemple dans un logement ou dans un arbre), souvent de manière indésirable. Sur sa trajectoire, la lumière peut être amoindrie ou entièrement arrêtée par des obstacles.

Lorsque l'on considère ces questions à grande échelle, la distinction entre émissions et immissions est moins nette. En cas de doute, le présent document utilise le terme « émissions lumineuses ».

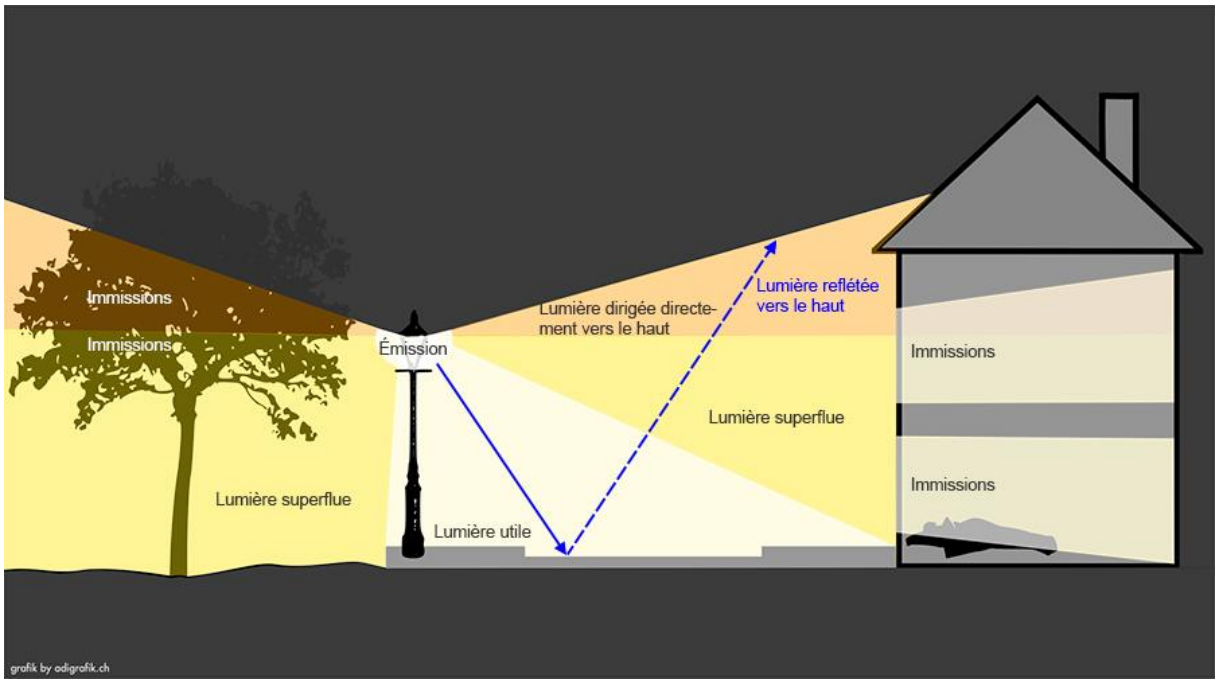


Figure 1: Représentation schématique d'une situation d'éclairage. En jaune clair : la lumière utilisée dans le but prévu. En jaune foncé et en orange : la lumière qui éclaire des secteurs extérieurs à la surface visée ; cette partie de la lumière produite est indésirable et doit être réduite autant que possible (notamment en choisissant un dispositif d'éclairage approprié).

En fonction de l'orientation et de l'intensité de la lumière, sa portée peut varier :

— **Portée suprarégionale :** La nuit, la lumière orientée vers le haut sans protection parvient directement dans le ciel, modifie le paysage nocturne à grande échelle et peut même être observée depuis l'espace, comme l'indiquent les images satellite (voir A3.2).

— **Portée régionale :** La lumière orientée ou réfléchie vers le haut peut former, notamment en cas de brouillard, un halo lumineux au-dessus d'une ville ou d'une agglomération. Cette illumination perceptible à l'échelon régional peut attirer des oiseaux migrateurs, qui dévient ainsi de leur itinéraire (voir 0).

— **Portée locale :** Les immissions locales sont généralement déterminantes pour l'être humain, par exemple lorsque de la lumière arrive directement dans une pièce d'habitation (voir A3.1). Une illumination peut aussi avoir des conséquences pour la faune et la flore, même si elle n'affecte qu'une petite surface. Par exemple, les insectes peuvent ainsi être attirés par des lampes isolées (voir 0)

Outre l'intensité de la lumière artificielle, sa composition spectrale (ses composantes ultraviolette et bleue, par exemple) s'avère elle aussi **déterminante pour les conséquences** que celle-ci exerce sur l'environnement et sur l'être humain. Il en va de même de la durée, du moment (de la journée, de l'année) et de l'orientation de l'éclairage, ainsi que de la périodicité des sources de lumière variables.

Par conséquent, la présente publication utilise le terme **« pollution lumineuse »** pour désigner la lumière qui excède le but visé – dans l'espace, dans le temps ou en intensité – ou qui produit des effets négatifs en raison de sa composition spectrale.

1.6 Sources d'émissions lumineuses

L'invention de la lumière électrique a tout d'abord permis de travailler en tout lieu et à n'importe quelle heure du jour ou de la nuit, puis facilité les activités de loisirs. Elle a aussi induit un éclairage à grande échelle dans les villes et le long des voies de communication. Cela a permis de mieux s'orienter en dehors des locaux, d'accroître ponctuellement la sécurité du trafic et surtout d'améliorer le sentiment de sécurité la nuit. Avec le temps, des dispositifs d'éclairage vantant certains équipements ou biens de consommation sont apparus, alors que d'autres installations mettaient en valeur des places ou des

bâtiments publics d'un point de vue urbanistique ou artistique. Le Tableau 1 offre une vue d'ensemble des sources potentielles de lumière artificielle dans l'environnement. Il précise également quels chapitres décrivent les mesures de réduction des émissions lumineuses superflues de ces sources.

Par ailleurs, outre l'éclairage nocturne, la lumière solaire modifiée par la construction ou l'exploitation d'installations peut aussi être considérée comme une atteinte nuisible ou incommodante entrant dans le champ d'application de la LPE. En font notamment partie les rayons reflétés par des façades, des fenêtres ou des installations solaires (voir Tableau 2).

Tableau 1 : Sources de lumière artificielle dans l'environnement la nuit

Catégories d'éclairage et exemples	**Indications supplémentaires**
Éclairage d'infrastructures de transport routier ; en font notamment partie : — les routes, les giratoires, les chemins, les passages piétons ; — les zones piétonnes, les cheminements piétons et les pistes cyclables ; — les places de stationnement, les parkings couverts ; — la signalétique (panneaux de signalisation, panneaux à message variable, systèmes de guidage du trafic, etc.).	→ chap. 3.1 → sécurité routière : A2.3.2
Éclairage d'autres infrastructures de transport, telles que : — les gares, les arrêts de transports publics ; — les aéroports, les aérodromes.	→ chap. 3.2
Éclairage d'infrastructures sportives : — en zone bâtie : par ex. terrains d'entraînement et stades de football et d'athlétisme, terrains de tennis, piscines en plein air, etc. ; — en dehors de la zone bâtie : par ex. pistes de ski alpin, de ski de fond ou de luge, parcours de jogging en forêt, itinéraires de kayak, manèges ouverts, etc.	→ chap. 3.3 → chap. 3.3.2 → chap. 3.3.3
Éclairage pour l'industrie et les entreprises (travail à l'extérieur) ; par ex. : — les aires industrielles telles que gares de marchandises, gares de triage, dispositifs de chargement, rampes, sites d'entreposage et installations éclairées par des projecteurs, par exemple pour le commerce de véhicules — les bâtiments industriels et les bâtiments d'autres entreprises, tels que centres commerciaux, centres de logistique, stations-service, stations de lavage de voitures, magasins ouverts toute la nuit, etc. ; — les bâtiments industriels ou administratifs utilisés la nuit (y compris la lumière qui s'en échappe) ; — les serres ; — les hôpitaux ; — les chantiers nocturnes (y compris les machines de chantier).	→ chap. 3.4
Éclairage de bâtiments et installations publics, tels que : — les bâtiments historiques, les monuments, les églises (éclairage des façades) ; — bâtiments administratifs, les écoles ; — les places publiques, les zones de rencontre ; — les parcs urbains.	 → chap. 3.6 → chap. 3.6.4 → chap. 3.5 → chap. 3.5
Les éclairages publicitaires ou liés à des événements, par ex. : — les éclairages publicitaires : enseignes commerciales, publicités lumineuses, vitrines ; — les projecteurs pointés vers le ciel (« skybeamers » : projecteurs de forte puissance émettant de la lumière dans le ciel nocturne, généralement à des fins publicitaires) ; — installations lumineuses à prétention artistique ; — façades média ou écrans (permanents).	→ chap. 3.7

Catégories d'éclairage et exemples	Indications supplémentaires
Éclairage de bâtiments et installations privés, par ex. : — les immeubles très élevés ou autres bâtiments présentant une importante surface de fenêtres, de cages d'escaliers vitrées, etc. (lumière s'échappant de l'intérieur des bâtiments) ; — les éclairages extérieurs (fonctionnels) ; — les éclairages décoratifs (jardins, éclairages de façades ou d'objets, luminaires décoratifs isolés, etc.) ; — les illuminations de Noël.	→ chap. 3.8 → chap. 3.8.2
Éclairage d'objets naturels, tels que : — les sommets de montagnes ; — les berges, les étangs, les cascades ; — les arbres et les buissons.	→ chap. 3.9

Tableau 2 : Sources d'émissions lumineuses artificielles durant la journée

Catégories et exemples	Indications supplémentaires
Réflexion de la lumière du soleil sur des surfaces artificielles telles que : — façades en verre ; — revêtements métalliques ; — vitres ; — installations photovoltaïques ; — capteurs solaires.	→ chap. 5.1
Modification de l'effet naturel du soleil liée à l'exploitation d'installations, telle que : — projection périodique d'une ombre ou « scintillement » artificiel créé par la rotation des pales d'une éolienne.	→ chap. 5.2

1.7 Dispositions du droit fédéral concernant la limitation des émissions lumineuses

Les émissions lumineuses qui parviennent dans l'environnement à partir d'installations fixes entrent dans le champ d'application de la loi sur la protection de l'environnement (LPE ; RS 814.01), dont le but est de protéger l'homme et l'environnement contre les atteintes nuisibles ou incommodantes. Ces installations d'éclairage doivent donc satisfaire au principe de la limitation préventive des émissions et ne peuvent induire d'effets nuisibles ou incommodants (voir A1.2.1).

Si des habitats de groupes d'animaux sensibles à la lumière ou des espaces naturels dignes de protection sont concernés, les dispositions de la loi sur la protection de la nature et du paysage (LPN ; RS 451), de la loi sur la chasse (LChP ; RS 922.0) ou de la loi sur la pêche (LFSP ; RS 923.0) doivent aussi être respectées (voir A1.2.2, A1.2.3).

Le Tableau 3 résume les principales prescriptions fédérales concernant la limitation des émissions lumineuses. Il indique aussi à quelles installations et dans quelles situations ces dispositions s'appliquent et à qui il incombe de les mettre en œuvre ou de vérifier qu'elles soient respectées. Les chapitres mentionnés dans le tableau fournissent des informations plus détaillées à ce sujet.

Tableau 3 : Principales dispositions fédérales concernant la limitation des émissions lumineuses

Protection de l'homme et de l'environnement : ces dispositions s'appliquent de manière générale à toutes les installations d'éclairage		
Installations / objets à protéger	**Exigences légales**	**Compétences**
— **Installations :** toutes les installations fixes situées dans l'environnement qui produisent de la lumière artificielle ou modifient la lumière naturelle du soleil ; les appareils sont assimilés à des installations (art. 7, al. 7, LPE). — **Objets à protéger :** les hommes, les animaux et les plantes, leurs biocénoses et leurs biotopes (art. 1, al. 1, LPE).	— Limitation préventive des émissions (1er niveau) : indépendamment des nuisances existantes, il importe, à titre préventif, de limiter les émissions dans la mesure que permettent l'état de la technique et les conditions d'exploitation et pour autant que cela soit économiquement supportable (art. 11, al. 2, LPE). Mesures possibles : → chap. 2 et 3 — Limitation plus sévère des émissions (2e niveau) : si l'on constate ou s'il y a lieu de présumer, vu la charge actuelle de l'environnement, que les atteintes seront nuisibles ou incommodantes, les émissions seront limitées plus sévèrement (art. 11, al. 3, LPE). Valeurs indicatives pour évaluer le caractère incommodant pour l'homme → chap. 4 — Explications juridiques complètes : voir A1.2.1	Autorités compétentes (chargées de l'octroi des autorisations) pour les installations correspondantes : — dans les communes ; — dans les cantons ; — à la Confédération. Les exigences s'appliquent aussi bien aux installations qui sont soumises à autorisation qu'à celles qui ne le sont pas : — pour les installations soumises à autorisation : → chap. 2.4 ; — pour les installations non soumises à autorisation : → chap. 2.5

Protection du paysage : dispositions supplémentaires applicables lors de l'accomplissement de tâches de la Confédération		
Installations / objets à protéger	**Exigences légales**	**Compétences**
— **Installations :** bâtiments et toutes installations en lien avec l'accomplissement de tâches de la Confédération au sens de l'art. 2 LPN. — **Objets à protéger :** aspect caractéristique du paysage (paysage nocturne), monuments naturels (art. 1, al. 1, LPN), ainsi qu'objets figurant dans les inventaires fédéraux (art. 5 LPN).	— Construire et entretenir de manière appropriée les bâtiments et installations ou renoncer à les construire, attacher des charges ou des conditions aux autorisations et aux concessions, ou refuser celles-ci (art. 3, al. 2, LPN). → Explications juridiques complètes : voir A1.2.2	— Confédération (ses instituts et ses établissements) ; — cantons.

Protection de la biodiversité : dispositions supplémentaires applicables en cas d'atteintes portées à des biotopes dignes de protection		
Installations / objets à protéger	**Exigences légales**	**Compétences**
— **Installations :** « atteintes d'ordre technique » (telles qu'émissions lumineuses) dans des biotopes dignes de protection — **Objets à protéger :** espèces animales et végétales	— Si, tous intérêts pris en compte, il est impossible d'éviter des atteintes d'ordre technique (telles que les émissions lumineuses) aux biotopes dignes de protection, l'auteur de l'atteinte doit veiller à prendre des mesures particulières pour en assurer la	Autorités compétentes (chargées de l'octroi des autorisations) pour les « atteintes d'ordre technique » : — dans les communes ; — dans les cantons ; — à la Confédération.

	meilleure protection possible, la reconstitution ou, à défaut, le remplacement adéquat (art. 18, al. 1ter, LPN). → Explications juridiques complètes : voir A1.2.3	Les exigences s'appliquent aussi bien aux installations qui sont soumises à autorisation qu'à celles qui ne le sont pas : — pour les installations soumises à autorisation : → chap. 2.4 ; — pour les installations non soumises à autorisation : → chap. 2.5

2 Recommandations d'ordre général pour la limitation des émissions lumineuses la nuit

2.1 Introduction

En vertu de l'art. 11, al. 1, de la loi sur la protection de l'environnement (LPE), les émissions lumineuses doivent être limitées à la source (voir A1.2.1). Lorsqu'on planifie ou réalise des installations d'éclairage, les sept aspects fondamentaux suivants devraient faire l'objet de réflexions et d'études (voir Figure 2) :

[1] Nécessité

[2] Gestion dans le temps / système de commande

[3] Intensité / clarté

[4] Spectre lumineux / couleur de la lumière

[5] Choix et positionnement des lampes

[6] Orientation de l'éclairage

[7] Écrans protecteurs

Les quatre ou cinq premiers points peuvent déjà être abordés dans le cadre de planifications de grande envergure (par exemple lors de l'élaboration de plans ou de stratégies d'éclairage). La section 2.2 fournit des indications à ce sujet.

Pour les plans d'éclairage d'échelle plus modeste (pour une place publique, par exemple), ainsi que lors de la planification d'une installation d'éclairage spécifique, les sept aspects ci-dessus peuvent s'avérer importants.

La section 2.3 présente des considérations générales pour ces sept points.

La section 3.9 fournit des indications supplémentaires concernant la réduction des conséquences pour les espèces et habitats sensibles à la lumière.

Le chapitre 3 applique quant à lui ces sept aspects fondamentaux à certaines situations ou installations d'éclairage, en décrivant des mesures spécifiques.

Pour les installations d'éclairage soumises à autorisation, les études menées et les mesures envisagées peuvent être documentées et contrôlées dans le cadre de la procédure d'autorisation (voir 2.4).

Il est également possible de se référer aux sept points ci-dessus lorsqu'on traite des réclamations (voir 2.6).

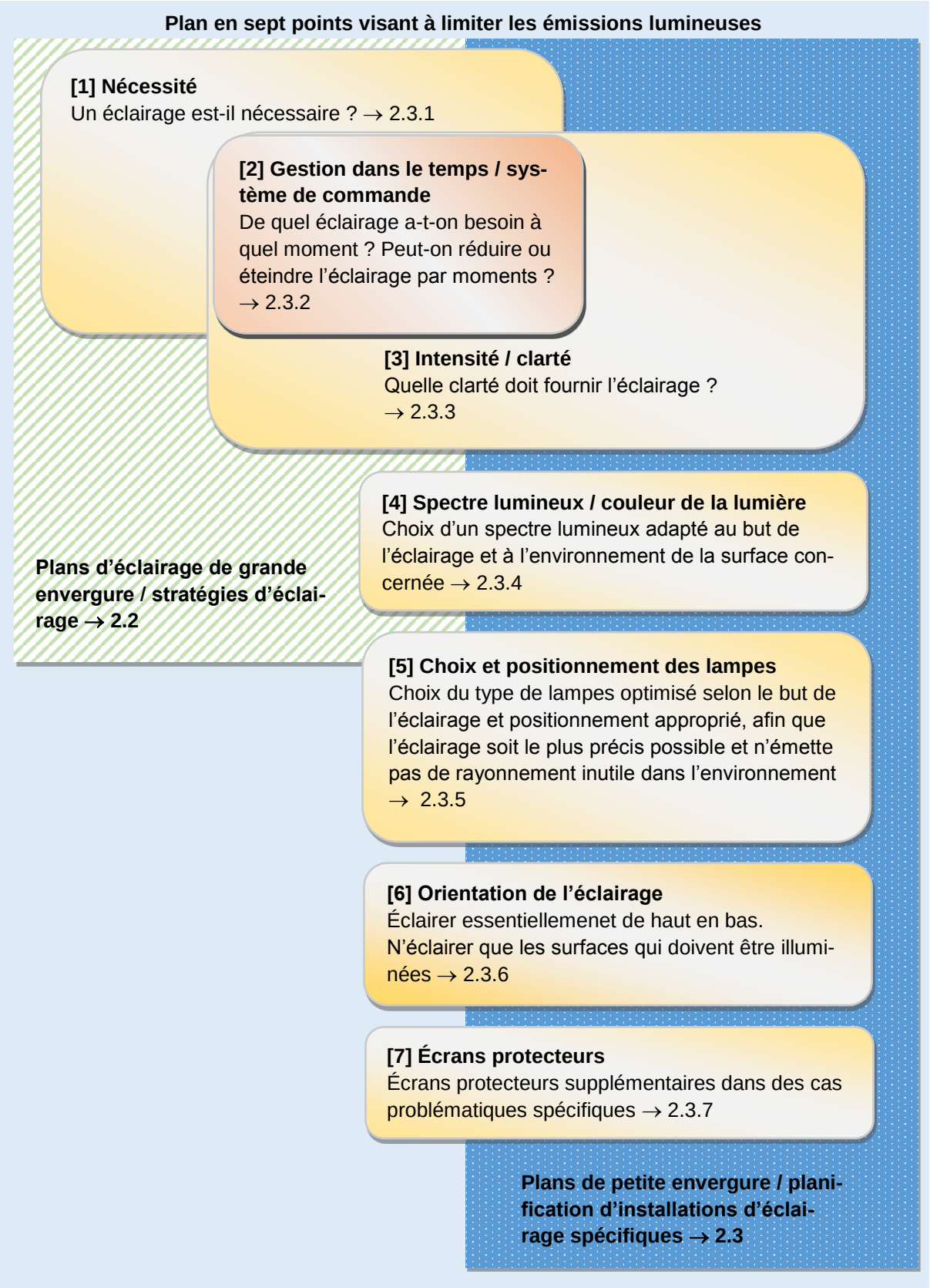


Figure 2 : Vue d'ensemble du plan en sept points visant à limiter les émissions lumineuses. Les quatre ou cinq premiers points peuvent déjà être traités dans le cadre de plan d'éclairage de grande envergure. Lors de la planification d'une installation d'éclairage donnée, les sept points peuvent s'avérer importants. En fonction de la situation, il peut être judicieux de traiter ces diverses étapes dans un ordre différent de celui présenté ici. Tous les points ne sont pas non plus toujours pertinents.

2.2 Mesures de planification (plan d'éclairage de grande envergure)

2.2.1 Généralités

Dans la pratique, il existe différentes approches permettant de tenir compte des questions liées à la réduction des émissions lumineuses dans le cadre des procédures de planification ou d'aménagement du territoire :

— **Plans directeurs :** Certains cantons ont défini dans leurs plans directeurs des principes de planification pour la réduction des émissions lumineuses. Les cantons de Schaffhouse et de Thurgovie, par exemple, indiquent dans la documentation de ces plans qu'il faut éviter autant que possible d'illuminer artificiellement le ciel nocturne et que les installations d'éclairage doivent être optimisées afin d'éclairer les objets visés de manière efficace et ciblée (Canton de Schaffhouse 2014, Canton de Thurgovie 2009).

— **Règlements communaux de construction et d'affectation, plans de zones communaux :** Ces instruments communaux de planification réglementent la manière dont les parcelles peuvent être bâties et utilisées. Ils peuvent ainsi également définir de manière contraignante la protection contre les immissions lumineuses, en prescrivant par exemple des affectations spécifiques et en restreignant les émissions en fonction de la zone concernée. Dans un plan de zones, la commune peut délimiter très concrètement les secteurs dans lesquels elle souhaite autoriser ou interdire un emploi spécifique de la lumière.

— En complément aux instruments de l'aménagement du territoire, qui réglementent l'utilisation et le développement généraux d'une région ou d'une commune, on a aussi élaboré en bien des endroits, ces dernières années, des **plans ou stratégies d'éclairage** spécifique, appelés par exemple « **Plan Lumière** ».

Les premiers plans de ce type ont été conçus avant tout comme des instruments stratégiques d'aménagement destinés à mettre en valeur et bien présenter l'espace public et le paysage urbain durant la nuit. En Europe, la ville française de Lyon a joué un rôle pionnier en établissant son premier Plan Lumière en 1989. Ce n'est qu'au cours du temps que les questions d'écologie et d'efficacité énergétique sont venues s'ajouter à ces instruments ; dans le cas de Lyon, par exemple, cela n'a été fait que dans la deuxième version du plan, en 2004 (Daouk 2015).

Dans ce contexte, le fait de réduire les émissions de lumière la nuit ne profite pas qu'à la protection de l'environnement, mais aussi à la qualité du site construit. Lors de l'élaboration des plans correspondants (Plans Lumière de Lucerne et de Zurich, par exemple), on a en effet constaté que les centres-villes étaient déjà tellement illuminés qu'il était tout à fait impossible de mettre en évidence des bâtiments ou objets particuliers, si bien qu'il se justifiait, du point de vue visuel, de réduire le niveau d'éclairage dans son ensemble (Ville de Lucerne 2006, Hönig 2004). La sensibilité croissante aux questions de clarté et d'ombre a incité dans certains cas à délimiter également – dans un « **Plan des ombres** » complétant le Plan Lumière – des zones à l'intérieur desquelles il convient de renoncer à utiliser la lumière. C'est par exemple le cas de la ville de Lausanne (Henninger 2015).

À côté de grandes villes telles que Bâle, Genève, Lausanne, Lucerne, Winterthour ou Zurich, des communes et des villes de taille plus réduite ont aussi élaboré un plan d'éclairage ou sont en train de le faire (Carouge, Thalwil, centre de Schwyz, Rheinfelden ou Zofingue, par exemple).

Un tel plan d'éclairage assume les fonctions suivantes :

— planification stratégique générale de la lumière (et de l'ombre) dans un secteur de grande taille et pour une longue période ;

— instrument de coordination pour les divers services et acteurs impliqués.

2.2.2 Plans d'éclairage

2.2.2.1 Recommandation pour l'établissement d'un plan d'éclairage

Dans l'idéal, le fait de se pencher explicitement sur les questions d'éclairage et d'obscurité dans une région ou dans une commune induit une utilisation parcimonieuse de la lumière et de l'énergie, et contribue à réduire les émissions lumineuses.

— Lorsque, dans une région ou une commune, il est prévu de renouveler l'éclairage de manière significative (remplacement de réverbères, par exemple), il est recommandé d'élaborer un plan ou une stratégie (générale) d'éclairage.

— En fonction de la taille de la région à laquelle elle doit s'appliquer, une telle stratégie peut être plus ou moins détaillée, mais elle devrait au moins contenir des principes généraux d'éclairage.

— Des informations générales concernant la marche à suivre pour l'établissement d'un plan d'éclairage de grande envergure se trouvent à l'annexe A4.

2.2.2.2 Implication des services concernés et de la population

Les représentants de divers milieux aspirent à utiliser l'espace de différentes manières et ont donc des souhaits spécifiques en matière d'éclairage ou d'obscurité. Lorsqu'on élabore un plan général d'éclairage, il convient ainsi d'impliquer les services administratifs spécialisés et groupes d'acteurs concernés, afin de pouvoir pondérer les divers intérêts et trouver des compromis si nécessaire. Lorsqu'un plan est élaboré de manière participative, on part de l'idée qu'il sera ensuite soutenu par tous les participants lors de sa mise en œuvre.

Les principaux services ou acteurs à intégrer peuvent être par exemple :

— responsables politiques (par ex. conseil communal ou municipal) ;

— autorités chargées des constructions (par ex. service des ponts et chaussées, service de l'aménagement, service des constructions, etc.) ;

— responsables des finances ;

— exploitants de l'éclairage public (canton ou commune, parfois entreprises électriques ou tiers) ;

— spécialistes de l'éclairage, planificateurs éclairagistes ;

— responsables de la sécurité publique (par ex. police, service de l'urbanisme, etc.) ;

— autorités de protection de l'environnement et de la nature ;

— autres acteurs (conservation des monuments historiques, acteurs touristiques, administration des écoles, autorités en charge des sports, organisations de protection de l'environnement, etc.) ;

— population.

En fonction de leur âge, de leur sexe et de leur situation de vie, les personnes ont des besoins et des souhaits variables en matière de sécurité et d'éclairage (voir également section 2.2.2.4). Pour rassembler ces souhaits et faire mieux comprendre un changement d'éclairage prévu, il est recommandé d'intégrer la population à l'élaboration du plan d'éclairage. Cela peut se faire notamment des manières suivantes :

— Manifestations d'information :
Proposer au public des informations et des exemples de réalisation peut faciliter les échanges et sensibiliser la population (voir l'exemple pratique « Fête de la Nuit » à la section 3.1.4).

— Enquêtes :
Les enquêtes peuvent porter aussi bien sur la situation actuelle que sur les souhaits concernant l'éclairage futur ou sur les expériences faites lors d'une période test avec un éclairage modifié. Les enquêtes anonymes sont aussi importantes lorsqu'il s'agit de répondre à des craintes liées à la sécurité et induites par la modification du plan d'éclairage (notamment en cas de réduction ou

d'extinction durant la nuit). En effet, les peurs de ce type sont rarement exprimées lors de réunions publiques.

— « Promenades des lumières » :
En se promenant de nuit avec des groupes d'habitants, on permet à ceux-ci de désigner directement sur place les espaces qu'ils estiment trop sombres et peu sûrs. Il est aussi possible de présenter diverses variantes d'un nouvel éclairage dans son environnement réel et d'en discuter.

2.2.2.3 Problématiques abordées dans la perspective d'une limitation des émissions

Les indications et questions ci-dessous peuvent aider à limiter également les émissions indésirables dans le cadre de l'élaboration de plans généraux d'éclairage.

[1] Nécessité

— Dans quelles zones la lumière est-elle nécessaire et où ne faut-il pas en utiliser ?

— Comment la région ou la commune souhaite-t-elle gérer ses sources de lumière ? Par exemple :

  — Lumière fonctionnelle (de la lumière pour voir) : où est-il nécessaire d'éclairer les rues et les places, et où peut-on s'en passer ?

  — Lumière de mise en valeur (de la lumière pour regarder) : faut-il illuminer certains bâtiments ou faut-il démonter ou optimiser certains éclairages existants ?

— Comment la région ou la commune souhaite-t-elle gérer les sources de lumière privées ? Par exemple :

  — Lumière commerciale (de la lumière pour regarder) : est-il nécessaire d'adopter des exigences (ou des exigences plus strictes) pour les éclairages publicitaires ?

  — Lumière privée, telle qu'éclairages de vitrines, illumination de maisons privées, éclairages de Noël, etc. : faut-il lancer des projets de partenariat public-privé pour impliquer les acteurs privés, définir des exigences d'ordre général dans le règlement de construction et d'affectation, ou démarrer une campagne de sensibilisation ?

[2] Gestion dans le temps / système de commande

— Quand a-t-on besoin de lumière ? Certains éclairages peuvent-ils être réduits ou éteints à partir d'une heure spécifique ?

— De quelles possibilités dispose-t-on (sur le plan de la technique ou de l'exploitation) pour commander dans le temps l'éclairage des diverses sources lumineuses ?

[3] Intensité / clarté

— Où a-t-on besoin de quel niveau de clarté (et à quelle heure) ?

— Faut-il respecter les exigences de certaines normes ?

— Un éclairage donné est-il adapté à son environnement ?

[4] Spectre lumineux / couleur de la lumière

— Les plans d'éclairage de grande envergure définissent parfois aussi quelle couleur de lumière (température de couleur) doit être utilisée dans quelles zones. Dans ce domaine, des conflits d'objectifs peuvent se manifester entre les diverses exigences, par exemple entre les aspects d'aménagement (atmosphère agréable), les réflexions liées à la sécurité, les questions d'efficacité énergétique et le besoin de réduire autant que possible les conséquences négatives pour l'homme et l'environnement (voir 0).

[5] Choix et positionnement des lampes

— Certains plans généraux d'éclairage définissent aussi des exigences concrètes en ce qui concerne l'agencement technique et la disposition des équipements, ou prescrivent même de recourir à une technologie spécifique (par exemple, on peut n'admettre que les systèmes de projection pour l'illumination des façades, voir 3.6).

— Afin de pouvoir établir de telles exigences, il faut être au clair sur les solutions techniques actuelles : de quelles possibilités techniques dispose-t-on pour satisfaire aux besoins d'éclairage spécifiques dictés par la situation tout en limitant les émissions superflues ?

Exemple pratique : exigences de base visant à réduire les émissions lumineuses dans le Plan Lumière de Lausanne

Dans le Plan Lumière de Lausanne, les principes suivants ont permis d'obtenir une réduction des émissions lumineuses (Henninger 2015) :

— Un « Plan des ombres » a défini des zones dans lesquelles l'obscurité nocturne doit être respectée.

— En zone urbaine, l'éclairage est adapté aux diverses activités en fonction de l'heure. Les périodes concrètes suivantes sont appliquées :

  — de 17 heures à 21 heures : fin de l'école ou du travail ;

  — de 21 heures à 24 heures : activités nocturnes (restaurant, cinéma, etc.) ;

  — de 0 heure à 5 heures : sorties dans les bars ou en discothèques, ainsi qu'activités continues dans les hôpitaux ou les pharmacies ;

  — de 5 heures à 8 heures : trajet vers l'école ou le travail.

— La hauteur des lampes par rapport au sol (hauteur du point lumineux) a été réduite, ce qui permet de mieux orienter la lumière.

— Démontage de réverbères boules : 1310 réverbères boules ont été remplacés par des lampes avec cache réflecteur.

Exemple pratique : exigences de base liées à l'environnement dans le Plan Lumière de Lucerne, afin de protéger les espèces et les habitats écologiquement sensibles

Pour limiter autant que possible les effets écologiques de l'éclairage, le Plan Lumière de Lucerne définit les exigences de base suivantes :

— « Il convient de veiller à un emploi modéré de la lumière, qui tienne compte des enjeux écologiques, en particulier en ce qui concerne le niveau d'éclairement et la gestion de l'éclairage dans le temps.

— De manière générale, il n'est pas permis d'illuminer les secteurs écologiquement sensibles, tels que les lisières, les rives d'eaux encore relativement intactes ou les sites de nidification.

— Si cela n'est pas possible pour des questions de sécurité, on choisira l'éclairage le plus compatible avec les exigences écologiques.

— L'emploi de lampes qui attirent davantage les insectes parce qu'elles rayonnent dans tous les sens ou n'ont pas les réflecteurs nécessaires n'est pas autorisé. Afin d'éviter que des insectes s'y introduisent, les lampes utilisées doivent être scellées.

— L'illumination artificielle du ciel nocturne (émissions lumineuses) par de la lumière diffuse excessive n'est pas admise. L'emploi de lampes de type « uplights » insuffisamment orientées ou de « skybeamers » n'est pas autorisé. » (Ville de Lucerne 2010a, p. 3)

2.2.2.4 Intégration des aspects liés à la sécurité dans les plans généraux d'éclairage

En ce qui concerne la **sécurité**, il faut distinguer la **sécurité objective** (délits tels qu'attaques à main armée, vols à l'arraché, lésions corporelles ou cambriolage) du **sentiment subjectif de sécurité** (voir A2.2). Ce dernier peut fortement varier d'un groupe de population à l'autre. Les indications ci-après peuvent être utiles pour éviter les émissions lumineuses superflues dans le cadre de la planification de l'éclairage tout en tenant suffisamment compte des questions de sécurité :

- ***Contrôle social :***
  La lumière ne peut remplir sa fonction sécuritaire que lorsque le contrôle social est possible. Si ce n'est pas le cas, l'éclairage n'améliore pas la sécurité d'un espace.
- ***Utilisation appropriée de la lumière :***
  Pour accroître la sécurité, il ne faut pas augmenter la lumière, mais diffuser une lumière adaptée. Un mauvais éclairage peut être plus dangereux que pas d'éclairage du tout.
- ***Éclairer de la manière la plus uniforme possible, éviter les forts contrastes :***
  Un éclairage uniforme permet de mieux se repérer et de reconnaître les personnes, il évite de créer des effets d'éblouissement et des zones d'ombre. Les forts contrastes de lumière induisent des éblouissements et des effets d'aveuglement similaires à ce que subit une personne se tenant sur une scène illuminée. Les délinquants potentiels peuvent ainsi observer les autres personnes sans être vus eux-mêmes, ou s'enfuir discrètement par des rues latérales obscures après leur délit.
- ***Tenir compte de l'éclairage existant :***
  Lors de la planification, il convient d'étudier également l'éclairage déjà disponible dans les alentours, afin d'éviter les forts contrastes. Le cas échéant, on réduira les éclairages existants.
- ***Coordonner les variations de l'éclairage dans le temps :***
  Lorsque l'éclairage évolue au cours des heures (réduction d'intensité ou extinction, notamment), il est aussi recommandé d'intégrer l'environnement immédiat dans le plan, de manière à ce que ces changements soient harmonisés dans l'espace et dans le temps.
- ***Créer des possibilités de se repérer :***
  Disposer de bonnes possibilités de se repérer exerce une influence positive sur le sentiment de sécurité. Outre un éclairage approprié, un bon aménagement de l'espace (axes de vue, tracé des itinéraires, points de mire, etc.) contribue à améliorer les possibilités de s'orienter.
- ***Tenir compte des différents besoins de sécurité :***
  Les divers groupes de population peuvent avoir des sentiments de sécurité très variés. Il convient donc de se demander quel est le principal groupe d'utilisateurs d'un espace et quels sont ses besoins en matière de sécurité. La section 2.2.2.2 fournit des indications sur la manière d'intégrer la population à ces réflexions.
- ***Une atmosphère agréable avec de la lumière de couleur blanc chaud :***
  Bien des personnes jugent que la lumière de couleur blanc chaud est plus agréable que la lumière de couleur blanc neutre ou blanc froid. Et là où on se sent bien, on se sent aussi en sécurité.
- ***Des éclairages différents pour des fonctions spatiales différentes :***
  À l'intérieur d'un espace, il peut exister des sous-secteurs assumant des fonctions différentes (par exemple chemins principaux ou latéraux dans un parc). Ces fonctions peuvent être mises en évidence par un éclairage différent (intensité, couleur de la lumière) ou en renonçant à l'éclairage en certains endroits.
- ***Utilisation particulière de la lumière dans les endroits potentiellement dangereux :***
  Il est possible de choisir ponctuellement un autre éclairage que celui du reste de la zone afin de rendre visibles les lieux potentiellement dangereux ou conflictuels (on peut par exemple utiliser du blanc neutre de manière ciblée dans un espace qui est généralement éclairé de lumière blanc chaud) ou de prévoir un éclairage ponctuel supplémentaire (voir Figure 3).

2.2.2.5 Prise en compte des besoins d'éclairage spécifiques aux personnes âgées

La capacité visuelle diminue et le danger d'éblouissement augmente au cours de la vie, parce que des opacités se développent dans les différentes parties de l'œil (cornée, cristallin, corps vitreux). Les personnes âgées ont donc des besoins spécifiques pour pouvoir se déplacer en sécurité la nuit (Age Stiftung 2006) :

— Pour une même performance visuelle, les personnes âgées nécessitent davantage de lumière que les plus jeunes. Leurs yeux sont aussi plus sensibles à l'éblouissement. À l'intérieur des locaux, un éclairage indirect (éblouissement moindre) s'avère plus approprié. À l'extérieur, des surfaces de couleurs contrastées (par ex. pour les différences de niveau, les traversées de rue, etc.) peuvent aider les personnes âgées à mieux s'orienter (voir Figure 3).

— Avec la vision crépusculaire ou nocturne, la sensibilité de l'œil humain se déplace en direction du domaine spectral vert-bleu, si bien que la lumière contenant beaucoup de bleu paraît plus claire, à intensité égale, que celle qui en contient moins. Avec l'âge, le cristallin se teinte de jaune : il diffuse plus fortement les ondes lumineuses de faible longueur et filtre la composante bleue. Comme la lumière de couleur blanc neutre ou blanc froid comprend généralement une composante bleue plus importante, elle a l'avantage – pour les personnes âgées ou malvoyantes – de faire encore parvenir une certaine proportion de lumière bleue sur la rétine malgré l'effet filtrant plus prononcé du cristallin. À l'extérieur, l'emploi de lumière de couleur blanc neutre ou blanc froid peut toutefois entrer en conflit avec la protection de la nature ou avec les besoins des personnes plus jeunes, parce que la lumière contenant le moins de bleu possible a potentiellement moins d'effets biologiques négatifs et qu'elle est souvent jugée plus agréable.

— Les aînés voient souvent les sources de lumière depuis une autre perspective que les personnes plus jeunes (fauteuil roulant, position courbée). Ils peuvent donc aussi être incommodés par de la lumière qui ne dérange pas les autres adultes (éblouissement causé par une source lumineuse aperçue depuis le bas).

— Pour les personnes âgées, la lumière exerce souvent aussi une fonction de repérage et d'orientation. Pour renforcer celle-ci, on peut éclairer différemment les divers types d'espaces.

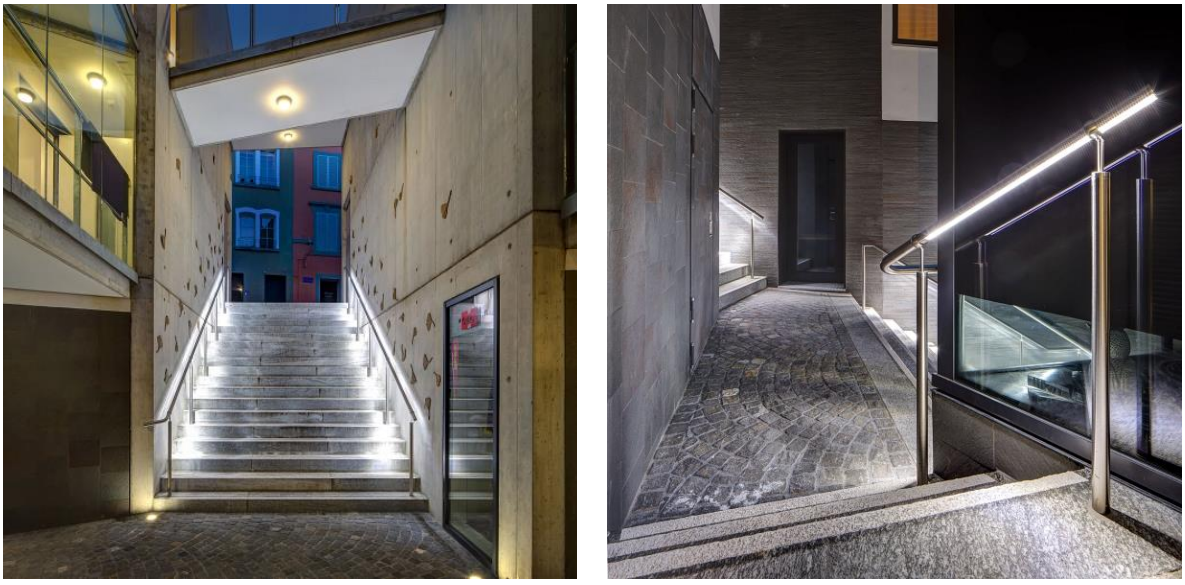


Figure 3 : Dans le quartier du Rôtillon à Lausanne, les escaliers sont éclairés en sus par des LED dissimulées dans la main courante. Les différentes marches sont encore munies d'une bande blanche antidérapante qui accroît le contraste visuel (source : www.lausanne.ch/eclairagepublic > Réalisations ; photo : Elisabeth Fransdonk – EMO-PHOTO).

2.2.3 Prise en compte des alentours dans la phase de planification

Afin d'éviter autant que possible les effets indésirables des éclairages sur l'homme et sur la nature, il convient de prendre en compte les alentours dès la planification des installations concernées. Les aspects suivants peuvent notamment jouer un rôle :

- **Clarté des alentours :** Dans un environnement sombre, les éclairages se remarquent et incommodent davantage ; une quantité de lumière réduite suffit en outre à y atteindre le but d'éclairage visé. Pour caractériser les alentours, on peut utiliser les zones environnantes définies dans le Tableau 5 de la section 4.2.
- **Topographie :** Les caractéristiques topographiques spéciales (site surélevé ou pente, par exemple) peuvent induire des situations particulières du point de vue de l'effet de la lumière (vue directe dans les lampes, visibilité plus étendue, notamment). Le cas échéant, des mesures spécifiques (supplémentaires) adaptées à la situation sont nécessaires pour limiter les émissions dans les zones sensibles.
- **Logements** dans les alentours :
  - En fonction de la situation, les grandes installations d'éclairage peuvent provoquer une illumination gênante des locaux lorsqu'elles sont situées à proximité de logements (voir 4.3 et annexe A3.1.4).
  - S'il est possible de voir directement dans les lampes, il peut en résulter un éblouissement incommodant pour l'homme, même dans des logements passablement éloignés des installations (voir 4.4 et annexe A3.1.3).
  - La section 2.3 présente des mesures générales destinées à réduire les émissions lumineuses dans l'environnement et dans les locaux résidentiels.
- **Milieux naturels dignes de protection et animaux nocturnes** : On trouve des espèces et des habitats sensibles à la lumière aussi bien dans l'espace rural qu'en milieu urbain (chauves-souris, par exemple). Les aires protégées situées en périphérie de zone bâtie doivent faire l'objet d'une attention particulière. Pour déterminer s'il existe des espèces ou des habitats sensibles à la lumière dans un cas concret, les sources d'information ci-dessous peuvent être utiles :
  - Sur Internet, la plateforme de géoinformation proposée en libre accès par la Confédération[1] fournit des cartes délimitant des milieux naturels dignes de protection (comme les objets de l'Inventaire fédéral des paysages, sites et monuments naturels d'importance nationale [IFP], les zones alluviales ou les sites marécageux) ainsi que les aires de répartition de certaines espèces sensibles (corridors faunistiques, réserves d'oiseaux d'eau).
  - Les sites Internet des cantons donnent quant à eux accès aux inventaires cantonaux.
  - Le cas échéant, il peut aussi être nécessaire de prendre contact avec les services et organisations de protection de la nature au plan local ou de procéder à des investigations ciblées afin de déterminer si des espèces sensibles à la lumière vivent dans un secteur donné (inventaires des chiroptères, par exemple[2]).
  - À côté des mesures d'ordre général mentionnées à la section 2.3 pour la limitation des émissions lumineuses dans l'environnement, la section 3.9 décrit des mesures supplémentaires destinées à réduire les effets de celles-ci sur les espèces et habitats sensibles à la lumière.

[1] Adresse : www.map.geo.admin.ch (état au 30 septembre 2016)
[2] La Fondation pour la conservation des chauves-souris met à disposition des spécialistes dans l'ensemble de la Suisse (www.fledermausschutz.ch).

2.3 Plan en sept points visant à limiter les émissions lumineuses

Les sept points mentionnés ci-après peuvent contribuer à limiter les émissions lumineuses indésirables (voir Figure 2). La présente section fournit des explications d'ordre général à leur sujet. Le chapitre 3 applique quant à lui ces sept aspects fondamentaux à certaines situations ou installations d'éclairage, en décrivant des mesures spécifiques.

2.3.1 Nécessité

Est-il vraiment nécessaire d'éclairer ?

- Cette question se pose à chaque fois qu'on prévoit de planifier ou de contrôler un éclairage. Les principes suivants s'appliquent :
  - N'éclairer que lorsque cela est nécessaire.
  - Envisager le démontage des installations existantes.
- Dans le cas des installations devant respecter les exigences d'éclairage de certaines normes pour des raisons de sécurité, on considère que la nécessité ne fait pas de doute. Pour les autres installations, un plan d'éclairage peut aider à déterminer si le besoin est avéré.
- Il est recommandé de ne pas planifier ou renouveler isolément des installations d'éclairage de grandes dimensions (éclairages routiers, par exemple) ; il en va de même de l'éclairage des installations ou espaces publics. Ces interventions doivent au contraire s'intégrer dans une stratégie générale d'éclairage ou un plan d'éclairage de grande envergure. En fonction de la taille de la région à laquelle la stratégie doit s'appliquer, celle-ci peut être plus ou moins détaillée, mais elle devrait au moins définir des principes généraux d'éclairage.

2.3.2 Gestion dans le temps / système de commande

- Lorsqu'un éclairage est nécessaire, les questions corollaires suivantes se posent :
  - Quand ou durant quelles périodes l'éclairage est-il nécessaire ?
  - L'éclairage peut-il être réduit ou éteint par moments ?
- Les lampes LED modernes s'allument et s'éteignent sans délai, et il est possible de faire varier leur intensité en continu. Combinées à des systèmes de commande intelligents, elles permettent de gérer les éclairages en fonction des besoins et de n'allumer la lumière que lorsque celle-ci est effectivement nécessaire (voir annexe A2.4).

2.3.3 Intensité / clarté

Quelle doit être la clarté de l'éclairage ?

- Limiter l'intensité de l'éclairage à ce qui est nécessaire. Lorsque les besoins sont couverts grâce à la plus petite quantité de lumière possible, on économise aussi de l'énergie.
- Tenir compte de la clarté ambiante : dans un environnement plutôt sombre, une lumière moins intense suffit à atteindre le but d'éclairage visé.
- Là où certaines normes exigent une clarté spécifique, le principe est le suivant : respecter les valeurs des normes, mais sans les dépasser.
- Les lampes LED peuvent varier en continu, si bien qu'il est possible de les régler précisément sur l'intensité lumineuse requise. En outre, leur flux lumineux peut rester pratiquement constant durant toute leur durée de vie (voir annexe A2.4) : il n'est donc pas nécessaire de surdimensionner les éclairages pour qu'ils fournissent encore suffisamment de lumière à la fin de leur période d'exploitation, comme c'était le cas avec les technologies plus anciennes.

2.3.4 Spectre lumineux / couleur de la lumière

Choisir soigneusement le spectre lumineux utilisé en fonction du but de l'éclairage et du lieu concerné (tenir compte des alentours) :

- Actuellement, les lampes LED de couleur blanc chaud présentent encore une efficacité énergétique légèrement plus faible que les LED blanc froid ou blanc neutre[3]. En revanche, la composante bleue de leur spectre lumineux – dont les effets biologiques sont particulièrement marqués – est généralement beaucoup moins importante (voir annexes A2.4, A3.1.5 et A3.3.2.6). Par ailleurs, bien des personnes jugent que la lumière blanc chaud est plus agréable que la lumière blanc neutre ou blanc froid. Le conflit d'objectif qui oppose ainsi économie d'énergie et réduction des émissions lumineuses bleues doit être apprécié de cas en cas.
- Le chapitre 3.1 fournit des indications sur les températures de couleur privilégiées dans la pratique en fonction du but de l'éclairage :
  - Lorsque l'éclairage a plutôt une fonction d'aménagement (dans les centres-villes ou les zones piétonnes, par exemple), ainsi que dans les quartiers et les rues résidentielles, on utilise souvent de la lumière blanc chaud d'une température de couleur d'environ 3000 kelvins (K).
  - Cette lumière est aussi recommandée en périphérie de zone bâtie et à proximité des milieux naturels.
  - Pour les éclairages fonctionnels (éclairage d'une route principale, par exemple), on tend plutôt a privilégier une lumière blanc neutre d'environ 4000 K.
  - On renoncera à utiliser des LED blanc froid, dont la température de couleur peut aller jusqu'à 6500 K.
- Si l'on privilégie de la lumière blanc neutre pour des raisons de sécurité, il convient d'examiner s'il est possible d'en réduire l'intensité. Avec la vision crépusculaire, en effet, la sensibilité de l'œil humain se déplace vers le domaine bleu-vert. Pour une intensité identique, la lumière contenant une forte composante bleue paraît donc plus claire que celle dont le spectre inclut moins de bleu.

2.3.5 Choix et positionnement des lampes

Un aspect est crucial pour limiter les émissions lumineuses dans les alentours d'une installation d'éclairage : afin de réduire la lumière diffuse et d'assurer un éclairage aussi précis que possible, il convient de choisir des lampes adaptées au but spécifique poursuivi.

- Les lampes devraient permettre un bon guidage du flux lumineux, de manière à n'éclairer autant que possible que les surfaces qui nécessitent de la lumière. Lorsqu'elles sont bien utilisées, les lampes LED permettent de mieux orienter la lumière que les lampes usuelles (voir annexe A2.4).
- Les lampes à rayonnement asymétrique permettent de mieux délimiter la surface éclairée que les lampes dont la lumière est distribuée de manière symétrique. Cela vaut également pour les lampes LED (voir chap. 3.3.2.1).
- En optimisant la hauteur du point lumineux, il est possible de diminuer la portée des lampes ainsi que les émissions qu'elles produisent en direction des logements ou des milieux naturels voisins.
- Pour les installations d'éclairage de grande taille (éclairages publics, éclairages de terrains de sport, etc.), il est recommandé de solliciter l'aide d'un spécialiste et de faire procéder à des calculs d'éclairage. Cela permet de choisir les lampes les plus appropriées dans la situation concrète, puis de les positionner et de les orienter au mieux.

2.3.6 Orientation de l'éclairage

- Il convient d'éclairer systématiquement de haut en bas, afin d'éviter les rayonnements superflus émis vers le ciel nocturne.
- Lors du montage, les lampes doivent être orientées précisément afin de n'éclairer que les surfaces qui nécessitent de la lumière.

[3] Selon les indications fournies par les fabricants, les LED dont la température de couleur est de 3000 kelvins (K) – et dont la lumière est donc de couleur blanc chaud – présentent une efficacité énergétique inférieure de 10 à 20 % aux LED blanc neutre ayant une température de couleur de 4000 K. Toutefois, les LED sont de toute façon plus efficaces que les lampes usuelles, quelle que soit leur température de couleur. Cette efficacité peut être encore nettement améliorée en recourant à un système de commande dynamique qui permet de produire de la lumière en fonction des besoins (voir annexe A2.5).

2.3.7 Écrans protecteurs

— Dans des cas problématiques spécifiques, il est possible de restreindre encore les émissions dans l'environnement grâce à des écrans protecteurs supplémentaires montés sur les lampes.

2.4 Installations d'éclairage soumises à autorisation

Lorsque des bâtiments ou des installations pour lesquels le droit fédéral, cantonal ou communal exige une autorisation comprennent un éclairage extérieur ou un éclairage intérieur pouvant exercer une influence sur l'espace extérieur en raison de la grande surface de fenêtres de l'édifice, il convient d'examiner également, dans le cadre de la procédure d'autorisation, si les exigences environnementales applicables aux installations d'éclairage sont respectées. Dans certains cas, l'éclairage est aussi évalué et autorisé dans le cadre d'une procédure ultérieure.

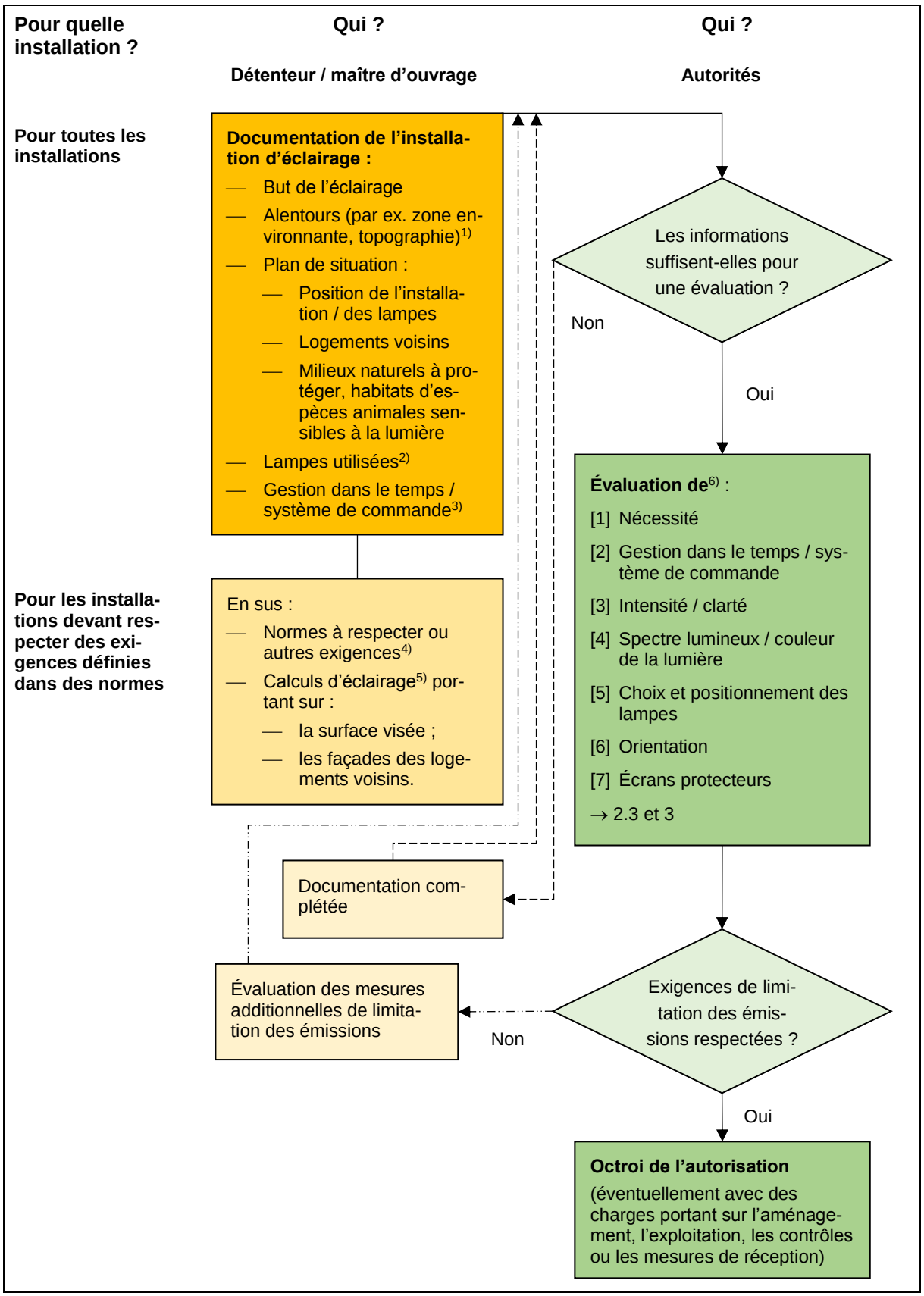
Il est recommandé de mener une telle évaluation lorsqu'on procède à l'autorisation de nouvelles installations d'éclairage ou d'installations dont l'éclairage est (entièrement) renouvelé (voir chap. 1.4).

La documentation présentant l'éclairage ou le plan d'éclairage sera remise par le détenteur de l'installation ou par le maître d'ouvrage dans le cadre de la procédure d'autorisation, comme partie intégrante du dossier de requête. En fonction de la taille de l'installation d'éclairage, les indications à fournir seront plus ou moins substantielles et détaillées (voir Figure 4).

Le dossier remis permet aux autorités d'examiner dans quelle mesure il est prévu de mettre en œuvre des mesures de limitation des émissions lumineuses. La section 2.3 décrit des mesures d'ordre général, alors que le chapitre 3 présente des mesures spécifiques à certaines installations.

Si les indications ne sont pas suffisantes pour une évaluation ou que des mesures supplémentaires sont nécessaires, la documentation sera complétée en conséquence.

Dans la décision, l'autorisation peut être liée à des charges contraignantes concernant l'agencement et l'exploitation de l'installation d'éclairage (par ex., montage d'écrans protecteurs ou définition d'heures d'éclairage ou d'intensités contraignantes). Elle peut aussi prévoir des contrôles ou prescrire de procéder à des mesures après mise en service lors de la réception. Il est même envisageable d'inclure dans la décision des restrictions pouvant aller jusqu'à l'interdiction de certains éclairages.



1), 2), 3), 4), 5), 6) Des explications concernant ces points sont fournies ci-après.

Figure 4: Dépôt et examen d'un dossier pour l'évaluation des éclairages du point de vue du droit de l'environnement dans le cadre de procédures d'autorisation

Remarques concernant la Figure 4 :

[1]**Indications concernant les alentours :** En fonction de la clarté de base des alentours, une quantité de lumière variable peut être nécessaire pour atteindre le but d'éclairage visé ; l'effet incommodant d'immissions lumineuses spécifiques peut aussi être plus ou moins fort en fonction des alentours.

— Pour caractériser les alentours d'une installation d'éclairage, on peut utiliser la classification des zones environnantes fournie par le Tableau 5 de la section 4.2.

— Aspects topographiques : des caractéristiques topographiques spéciales (site surélevé ou pente, par exemple) peuvent induire des situations particulières du point de vue de l'effet de la lumière (vue directe dans les lampes, visibilité plus étendue, par exemple). Il convient d'en tenir compte lors de la planification.

— Dans certains cas, les propriétés du sol peuvent aussi jouer un rôle dans l'aménagement d'un éclairage. En fonction du type de surface, une proportion variable de lumière est reflétée vers le haut. Avec de la neige, dont le facteur de réflexion est élevé, un éclairement faible suffit par exemple à illuminer des pistes de ski alpin ou de ski de fond.

[2]**Documentation concernant les lampes utilisées (fiches descriptives) :** Une documentation complète contient les indications suivantes :

— représentation graphique (photo, schéma de principe ou autre) des luminaires utilisés ;

— sources lumineuses ou lampes utilisées (par exemple LED, lampes à vapeur de sodium, lampe aux halogénures métalliques, etc.) ;

— couleur de la lumière (température de couleur en kelvins) / spectre ;

— flux lumineux (en lumens) ;

— caractéristiques de rayonnement : courbe photométrique, rayonnement symétrique ou asymétrique, etc. ;

— hauteur des lampes par rapport au sol (« hauteur du point lumineux ») ;

— type de montage, orientation des lampes, forme et position du verre de protection ;

— protections contre l'éblouissement et écrans protecteurs éventuels ;

— indications concernant le système de commande (possibilité de moduler l'intensité, détecteurs de mouvements, etc.).

[3]**Indications concernant la gestion dans le temps / le système de commande :**

— Indications concrètes sur les heures d'exploitation et les éventuels états de fonctionnement spécifiques de l'éclairage (par ex. intensités, secteurs éclairés différemment en fonction de l'heure, etc.).

— Le cas échéant, indications sur le système de commande basé sur les besoins (en fonction de l'heure ou non, dynamique ou non, profil de variation / cycles de commutation en cas d'adaptations dynamiques, etc.).

[4]**Indications sur les normes ou autres prescriptions à respecter :** Les normes (relatives par exemple aux lieux de travail extérieurs, à l'éclairage des sites industriels, aux infrastructures de sport, aux routes, etc.) définissent des exigences minimales pour la qualité de l'éclairage, alors que d'autres prescriptions (par ex. les règlements communaux sur la publicité) définissent plutôt des paramètres maximaux autorisés. Ces deux types d'exigences doivent être pris en compte lorsqu'on évalue l'intensité prévue (par exemple respect des valeurs maximales ; pas de dépassement des valeurs minimales définies par les normes).

[5]**Calculs d'éclairage :** La plupart du temps, pour les installations d'éclairage devant tenir compte de normes, on effectue de toute façon des calculs durant la planification pour démontrer que les exigences sont respectées (éclairement horizontal ou uniformité, par exemple), en référence à la surface visée. Si l'installation d'éclairage est déjà modélisée pour les simulations, il est possible – sans y consacrer trop de temps – de rajouter des surfaces verticales dans le modèle afin d'estimer également les

conséquences pour les bâtiments d'habitation voisins (en particulier, l'éclairement vertical permet d'évaluer l'illumination des locaux).

[6)]**Évaluation :** La numérotation renvoie au schéma de base présenté dans la Figure 2 du chapitre 2 pour la limitation des émissions. Pour les sept points qui y sont mentionnés, la section 2.3 décrit des mesures d'ordre général, alors que le chapitre 3 présente des mesures spécifiques à certaines installations.

2.5 Installations d'éclairage non soumises à autorisation

Pour les éclairages qui ne sont pas soumis à autorisation, il convient de prendre en considération les points suivants:

— Même si une installation (d'éclairage) n'est pas soumise à autorisation, elle doit respecter les dispositions du droit de l'environnement. En l'absence de procédure d'autorisation, cet aspect n'est toutefois vérifié par aucune autorité.

— Lorsque des réclamations concrètes sont formulées, il convient de déterminer si la situation dénoncée relève du droit de l'environnement, de sorte qu'il faut envisager des mesures de droit administratif, par exemple des décisions de limitation préventive des émissions. La section 2.6. fournit des indications sur la manière dont on peut procéder en cas de réclamations.

— Les autorités compétentes peuvent aussi effectuer d'office des contrôles et imposer des restrictions si nécessaire.

— L'information et la sensibilisation jouent un rôle particulièrement important lorsque les éclairages ne sont pas soumis à autorisation. Elles ont pour but d'inciter les propriétaires d'éclairages à prendre spontanément des mesures de limitation des émissions en leur fournissant de bonnes connaissances générales à ce sujet.

— Les exigences qui s'appliquent à toutes les installations d'éclairage et ne sont donc pas liées à l'autorisation obligatoire peuvent aussi être définies au plan communal dans des programmes d'éclairage, règlements de construction ou plans de zones et d'affectation.

— Les éclairages décoratifs et illuminations de Noël constituent un exemple particulier d'équipements non soumis à autorisation. La section 3.8 fournit des informations supplémentaires à ce sujet.

2.6 Traitement des réclamations

Lorsque quelqu'un se plaint de dérangements liés à des immissions de lumière, l'autorité compétente doit déterminer si la situation dénoncée relève du droit de l'environnement, de sorte qu'il faut envisager des mesures de droit administratif, telles que des décisions de limitation préventive des émissions.

Si tel est le cas, la procédure décrite ci-après, également représentée à la Figure 5, est proposée :

- (A) En vertu de la loi sur la protection de l'environnement (LPE), les atteintes ne doivent pas être limitées sur le lieu d'immission (par exemple dans le logement affecté), mais à la source (art. 11, al. 1, LPE). Dans un premier temps, il convient d'examiner s'il existe des mesures de limitation des émissions à la source :
  - La section 2.3 fournit des indications générales concernant les mesures de ce type applicables aux sources de lumière émettant la nuit. Outre des mesures techniques (réorientation des lampes ou montage d'écrans protecteurs, par exemple), on peut envisager de restreindre les heures d'exploitation. Il existe par ailleurs aussi, pour diverses installations d'éclairages, des mesures spécifiques, qui sont décrites dans les sections du chapitre 3.
  - Le chapitre 5 fournit des indications pour limiter durant la journée les émissions lumineuses causées notamment par la réflexion de la lumière du soleil sur des façades, des vitres ou des panneaux solaires, de même que celles liées à la modification du rayonnement naturel par la rotation des pales d'une éolienne.
- (B) S'il existe des mesures économiquement supportables et compatibles avec l'état de la technique et les conditions d'exploitation, le détenteur de l'installation doit les mettre en œuvre (art. 11, al. 2 et 3, LPE).
- (C) Une fois appliquées les mesures de prévention des émissions, si l'autorité n'a aucune raison de penser que les immissions restantes sont excessives au sens de la LPE pour les personnes affectées, le dossier peut être clos. Dans ce contexte, le fait que ces dernières se déclarent satisfaites une fois les mesures prises peut constituer un indice laissant supposer qu'il n'y a plus d'immissions excessives.
- (D) En revanche, si l'autorité a des raisons de présumer que les immissions restantes demeurent peut-être excessives pour les personnes touchées après la mise en œuvre des mesures de prévention des émissions, des investigations approfondies doivent être menées. Pour cela, on peut évaluer un éblouissement incommodant ou l'illumination d'un local durant la nuit à l'aide des valeurs indicatives du chapitre 5.
- Si les investigations montrent que les immissions lumineuses ne sont pas (ou plus) excessives une fois les mesures préventives prises à la source, on ne peut plus se fonder sur la LPE pour exiger du détenteur de l'installation qu'il prenne d'autres mesures de limitation des émissions.
- (E) Si les immissions restent excessives malgré la limitation préventive des émissions, l'art. 11, al. 3, LPE prescrit d'examiner et de mettre en œuvre des mesures de limitation (plus sévères) jusqu'à ce que les immissions ne soient plus excessives pour l'homme au sens de la LPE.

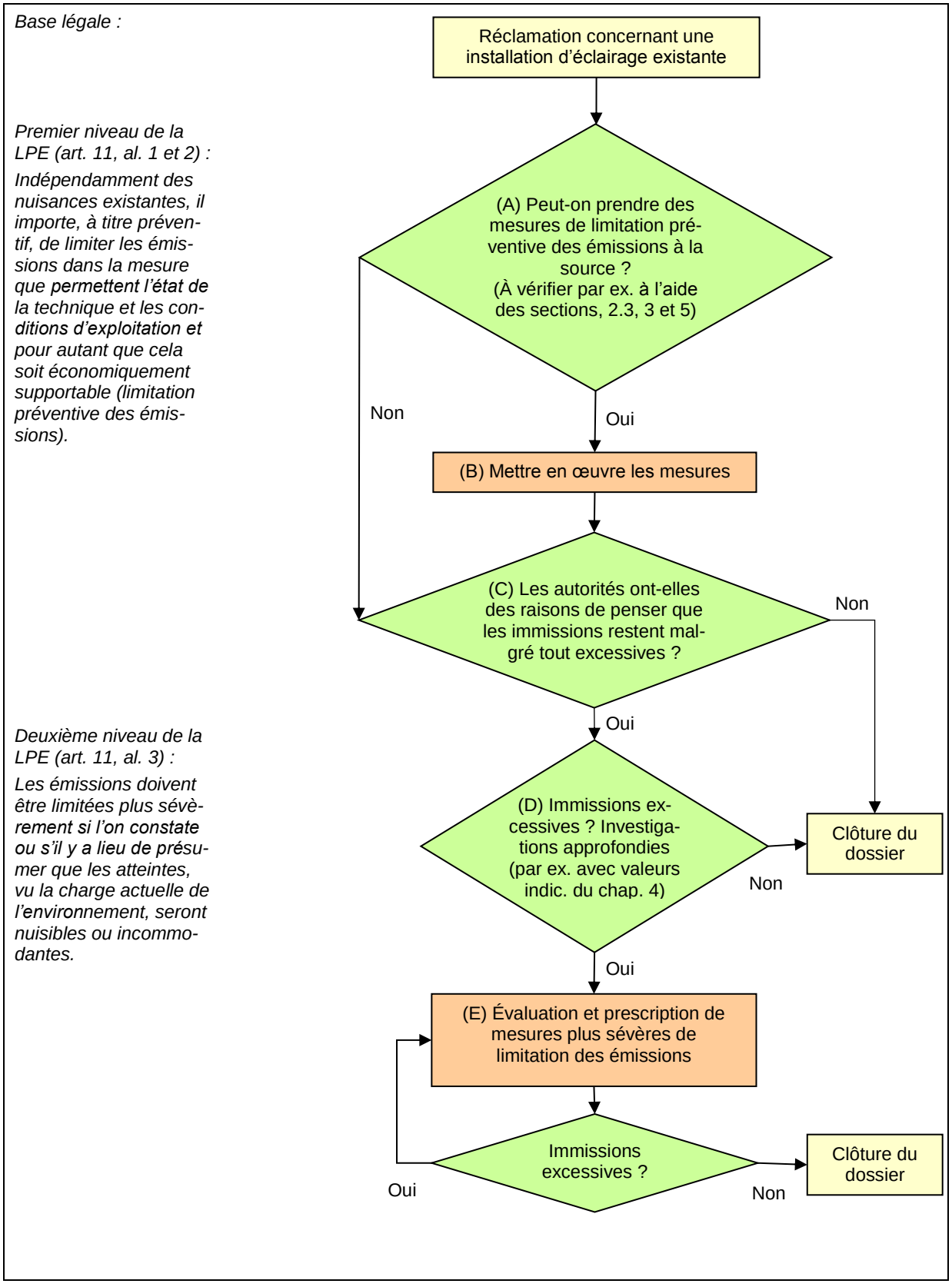


Figure 5 : Schéma de procédure pour le traitement des réclamations liées à un éblouissement incommodant ou à l'illumination d'un local par des installations d'éclairage.

3 Mesures spécifiques pour diverses situations et installations d'éclairage

3.1 Infrastructures de transport routier (éclairage public)

3.1.1 Généralités

Avec l'accroissement du taux de motorisation des usagers des transports, l'éclairage des rues et des routes, introduit initialement pour améliorer l'ordre public et la sécurité au sein de la société, est devenu un aspect essentiel de la sécurité du trafic (voir A2.3.2).

Toutefois, comme il forme de longues structures continues à une distance souvent réduite des maisons voisines, l'éclairage public constitue aussi une des sources principales d'émissions lumineuses pour les riverains et pour les espaces naturels situés à proximité. Des mesures et des calculs ont ainsi montré que lorsque les lampes sont placées très près des façades (1 m ou moins), l'éclairement vertical de celles-ci peut être très important (parfois nettement supérieur à 100 lux). Si la distance entre la lampe suivante et la façade est plus grande, l'intensité des immissions est aussi significativement plus faible est peut même être nettement inférieure à 1 lux (SLG 2016, Rechsteiner & Anderle 2015).

En 2015, de nouvelles exigences d'efficacité pour les lampes ont été définies dans l'ordonnance sur l'énergie[4] (OEne, RS 730.01). Les équipements inefficaces tels que les lampes à vapeur de mercure ne peuvent par conséquent plus être vendus : il convient de recourir à d'autres technologies plus efficaces, comme les LED. C'est la raison pour laquelle, en bien des endroits, l'éclairage public est modifié pour intégrer des systèmes plus efficaces au plan énergétique. La proportion de LED se monte actuellement à quelque 85 % lors du renouvellement d'installations existantes et cette technologie est même pratiquement la seule à être retenue lors du montage de nouveaux éclairages publics (SuisseÉnergie 2016).

À côté de leur grande efficacité énergétique de base, les lampes LED présentent encore un important potentiel d'économie lié au fait qu'elles s'allument sans délai et que leur luminosité peut être modulée de manière continue. Il est ainsi également possible, en combinant des LED à des systèmes de commande intelligents, de piloter des éclairages publics à lumière intense en fonction des besoins, ce qui permet d'économiser plus de 80 % d'énergie par rapport aux installations actuelles utilisant des lampes à vapeur de mercure (voir A2.5).

Justifié par le besoin d'accroître l'efficacité énergétique, le renouvellement de l'éclairage public offre aussi l'occasion de réduire les émissions lumineuses dans les alentours. Avec des lampes LED, il est possible de mieux orienter le flux lumineux et de régler plus précisément son intensité qu'avec les technologies courantes (voir A2.4).

Toute route relève de la compétence de la Confédération (réseau des routes nationales), d'un canton (routes cantonales) ou d'une commune. C'est donc l'autorité nationale, cantonale ou communale concernée (office des ponts et chaussées du canton ou de la ville, service communal des travaux publics, par exemple) qui décide si une route donnée doit être éclairée ou non.

Pour prendre cette décision, des spécialistes de l'éclairage mettent des indicateurs à disposition dans les offices des ponts et chaussées. Grâce à ceux-ci, les ingénieurs peuvent déterminer dans quelles situations il est judicieux d'installer des éclairages, et quand il vaut mieux s'en passer.

[1][5] Nécessité de l'éclairage

***N'éclairer que là où la lumière est nécessaire*.** Les aspects suivants peuvent être traités dans le cadre de la procédure de planification, en intégrant les services spécialisés et groupes d'intérêts concernés (voir chap. 3.1.3) :

— Où l'éclairage est-il nécessaire ?

— Où peut-on renoncer à l'éclairage ?

[4] L'OEne définit des exigences pour l'efficacité énergétique des lampes fluorescentes, des lampes à décharge à haute intensité, des ballasts et des luminaires (appendice 2.14), ainsi que des lampes électriques dirigées, des lampes LED et des équipements correspondants, alimentés par le secteur (appendice 2.15).
[5] Cette numérotation se réfère à la Figure 2 du chapitre 2.

— Envisager le démontage d'installations existantes.

Exemple pratique : critères permettant d'évaluer la nécessité des éclairages publics

La directive sur l'éclairage publiée par l'Office des ponts et chaussées du canton de Berne (2015a) propose des lignes directrices testées dans la pratique pour décider si des lieux doivent être éclairés ou non. Elle définit notamment divers paramètres dont dépend cette décision :

— *Difficulté des tâches de conduite :*
Plus l'usager doit fournir un effort important pour maîtriser une situation de trafic précise sans provoquer d'accident, plus il est probable que l'éclairage public soit nécessaire.

— *Volume de trafic durant les heures d'éclairage :*
Lorsque le flux de trafic est important, la sécurité doit être garantie.

— *Y a-t-il des zones conflictuelles telles que des bifurcations, des carrefours ou des giratoires ?*
Les zones conflictuelles correspondent à des surfaces sur lesquelles se croisent des flux de trafic motorisés ou qui sont aussi utilisées par d'autres usagers des transports (cyclistes, piétons, véhicules lents). Les passages piétons sont toujours éclairés.

— *Complexité du champ visuel ou de la tâche visuelle :*
Lorsqu'il y a des éléments potentiellement perturbateurs (tels que des véhicules stationnés) dans le champ visuel des usagers des transports, la tâche visuelle en devient plus ardue. Par conséquent, plus cette tâche est complexe, plus l'éclairage est nécessaire.

— *Niveau de clarté des alentours :*
Plus la route est exposée à l'influence de rayonnements lumineux dérangeants (liés par exemple à des vitrines illuminées, à des publicités lumineuses, etc.), plus l'éclairage est nécessaire. Lorsque la clarté des alentours diminue (par exemple parce que des vitrines ne sont plus illuminées), l'éclairage d'une route peut être réduit (voir [2a] dans la section 3.1.4).

— *Autres paramètres :*
Si le tronçon de route est utilisé par des élèves pour se rendre à l'école ou que les exigences de sécurité sont élevées pour d'autres motifs, cela peut constituer une raison de l'éclairer.

Pour apprécier et pondérer ces divers paramètres, la directive bernoise contient deux tableaux qui permettent de décider dans un cas concret si l'éclairage est nécessaire ou non, ou encore s'il est préférable qu'un spécialiste procède à des investigations complémentaires.

La directive suggère par ailleurs de comparer le projet prévu à des installations déjà réalisées dans des contextes semblables, dans le but de mieux apprécier l'effet de l'éclairage ou de l'absence de celui-ci sur la sécurité du trafic. L'annexe du document détaille aussi des exemples tirés de la pratique, en particulier pour ce qui concerne le redimensionnement des installations d'éclairage (Office des ponts et chaussées du canton de Berne 2015a).

Exemple pratique : pas d'éclairage des routes cantonales en dehors des localités

Dans le canton de Zurich, comme dans d'autres cantons, l'éclairage public n'est utilisé que là où les piétons et le trafic motorisé entrent fréquemment en contact, soit principalement dans les zones bâties des localités (Baudirektion Kanton Zürich 2005). En revanche, on renonce en principe à éclairer la chaussée en dehors de celles-ci. Certains tronçons utilisés de manière spécifique (itinéraires entre localités parcourus par des écoliers, giratoires présentant un danger d'accident accru) font toutefois exception (EBP 2016).

3.1.2 Normes pour l'éclairage public

Lorsque l'autorité compétente a décidé qu'il faut éclairer un tronçon de route, il est usuel en Suisse de s'en tenir à l'ensemble de normes SN EN 13201 « Éclairage public ». Révisée et complétée en 2016, celle-ci se compose de cinq parties :

— *SNR 13201-1 : Éclairage public – Partie 1 : Fil conducteur pour la sélection des classes d'éclairage*

Cette « Règle suisse » (SNR) contient des instructions pour attribuer une classe d'éclairage à une route, en s'appuyant sur divers paramètres (tels que vitesse autorisée, composition ou volume du trafic). Les exigences en matière d'éclairage, qui dépendent de la classe concernée, sont définies dans la Partie 2 et découlent des besoins visuels des divers utilisateurs de la route. Comme ces besoins peuvent changer en fonction de la saison et de l'heure de la nuit, les classes d'éclairage à appliquer peuvent également varier. La Partie 1 contient donc aussi des indications sur les éclairages dynamiques ou les réductions nocturnes respectant la norme.

— *SN EN 13201-2 : Éclairage public – Partie 2 : Exigences de performance*
Les diverses classes d'éclairage doivent répondre à des besoins visuels différents. La Partie 2 de la norme définit quelles performances photométriques doivent être atteintes sur une chaussée d'une classe donnée pour ce qui est de la luminance, de l'éclairement ou de l'uniformité de l'éclairage. À son annexe A4, cette partie propose aussi des indications qualitatives sur la manière de réduire la lumière incommodante pour les riverains et les alentours.

— *SN EN 13201-3 : Éclairage public – Partie 3 : Calcul des performances*
La Partie 3 explique comment calculer à l'avance les performances photométriques définies dans la Partie 2, lors de la planification d'un éclairage public. Elle contient aussi des indications concernant les points de mesure et de calcul (grille de mesure et de calcul).

— *SN EN 13201-4 : Éclairage public – Partie 4 : Méthodes de mesure des performances photométriques*
La Partie 4 définit la procédure à suivre et les conditions à respecter lors de la mesure des performances photométriques définies dans la Partie 2. Les résultats obtenus peuvent notamment servir à vérifier qu'une installation d'éclairage public respecte la norme.

— *SN EN 13201-5 : Éclairage public – Partie 5 : Indicateurs de performance énergétique*
La Partie 5 définit des indicateurs pour évaluer l'efficacité énergétique des installations d'éclairage public.

Le groupe spécialisé « Routes et places » de l'Association suisse pour l'éclairage (SLG) aborde des questions liées à l'application de cet ensemble de normes dans la pratique. La SLG a publié dans une directive des compléments à la norme sur l'éclairage :

— *SLG 202 : Éclairage des routes – Compléments aux normes SNR 13201-1 et SN EN 13201-2 à -5 :*
Cette directive contient d'une part des explications sur l'ensemble de normes SN EN 13201 et indique par exemple comment procéder pour attribuer une classe d'éclairage à un tronçon de route ou motiver une réduction de l'éclairage durant les heures de la nuit où le trafic est faible. Elle comprend d'autre part des compléments montrant par exemple comment éteindre l'éclairage la nuit ou comment éclairer les passages piétons et les giratoires.

Éclairage des passages piétons

À sa section 2.3, la directive SLG 202 aborde explicitement la question de l'éclairage des passages piétons. Par ailleurs, pour l'éclairage, la norme SN 640 241:2016 « Traversées à l'usage des piétons et des deux-roues légers ; Passages piétons » de l'Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS), qui réglemente les exigences auxquelles doivent répondre les passages piétons, renvoie elle aussi à la directive SLG 202.

Selon la directive de la SLG, les routes fortement éclairées (luminance sur la chaussée de 1,5 candela par mètre carré [cd/m^3] ou éclairement horizontal de 20 lux) ne nécessitent généralement pas d'éclairage supplémentaire des passages piétons afin que soit obtenue la visibilité exigée pour les personnes se situant au bord de la route ou sur le passage. En revanche, avec un éclairage moins intense (classe d'éclairage inférieure), un éclairage supplémentaire est nécessaire. Il doit apporter une certaine clarté sur la chaussée (luminance, éclairement horizontal), mais également garantir un éclairement d'au moins 5 lux sur une surface verticale de référence. Le but de ces prescriptions est que les

personnes qui attendent au bord de la route ou la traversent sur le passage piétons soient suffisamment illuminées afin que le contraste ainsi créé par rapport à leur arrière-plan les rende bien visibles pour les conducteurs qui s'en approchent.

3.1.3 Recommandations pour la procédure de planification des éclairages publics

Toute route relève de la compétence de la Confédération (réseau des routes nationales), d'un canton (routes cantonales) ou d'une commune. Bien souvent, les installations d'éclairage ne sont cependant ni planifiées ni exploitées par leurs propriétaires eux-mêmes : ce sont des exploitants de réseau locaux ou régionaux (entreprises électriques) ou des tiers qui s'en chargent.

Cette situation a pour conséquence une répartition souvent peu homogène des connaissances techniques. Fréquemment, divers groupes d'acteurs défendent des intérêts divergents et parfois même contradictoires. Lors de la mise en place ou de l'assainissement d'un éclairage public, il convient de bien coordonner les travaux pour prendre en compte les divers intérêts. Les recommandations faites ci-après pour la procédure de planification peuvent contribuer à restreindre autant que possible les émissions lumineuses indésirables.

[A] Plan général d'éclairage / principes généraux d'éclairage

La mise en place et le renouvellement des éclairages publics ne devraient pas se faire de manière isolée, mais s'intégrer à un plan général d'éclairage ou à un plan d'éclairage à grande échelle. Cela permet d'éviter de faire de mauvais choix, avec les investissements malheureux qui les accompagnent. En fonction de la taille de la région à laquelle il doit s'appliquer, un tel plan peut être plus ou moins volumineux, mais il devrait au moins proposer des principes généraux d'éclairage.

Exemple pratique : plan général d'éclairage de Thalwil

En 2015, la commune de Thalwil, dans le canton de Zurich, a élaboré un « Masterplan Licht » : pour tout son territoire, elle y définit quelles activités sont menées dans quelles zones et quel niveau d'éclairage doit donc y être mis à disposition. Un tel plan général peut aider par la suite à dimensionner correctement l'éclairage public de chaque zone, ou à renoncer à tout éclairage (Gemeinde Thalwil 2015).

Exemple pratique : réorientation conceptuelle de la stratégie d'éclairage des routes cantonales bernoises

En 2013, de nombreuses installations d'éclairage des routes cantonales bernoises avaient atteint la fin de leur cycle de vie. Comme la moitié des quelque 27 000 réverbères allaient devoir être remplacés dans les années suivantes, le moment était idéal pour reconsidérer entièrement la stratégie d'éclairage. Il s'agissait d'une part de contribuer à la transition énergétique, notamment à la Stratégie énergétique 2050 de la Confédération (voir A2.5). On souhaitait d'autre part éviter de surdimensionner les équipements, comme cela avait souvent été le cas par le passé (voir A2.3.2). Pour atteindre ces objectifs, on a décidé dans un premier temps de réorienter la stratégie d'éclairage en s'appuyant sur les cinq axes suivants :

— éclairer (uniquement) au bon endroit ;

— éclairer (uniquement) au bon moment ;

— assainir la liste des « avaleurs » d'électricité (remplacement systématique des lampes à vapeur de mercure) ;

— économiser des watts – dimensionner pour la classe d'éclairage minimale autorisée ;

— utiliser le potentiel de la technologie LED : de la lumière à la demande.

(Office des ponts et chaussées du canton de Berne 2015b, Breuer 2016)

[B] Implication des services pertinents et des groupes concernés

Afin de prendre en compte les divers intérêts et les différents aspects liés à l'éclairage (tels que sécurité, aménagement, efficacité énergétique, réduction des émissions lumineuses superflues, etc.) et de parvenir à des compromis si nécessaire, les services pertinents et les groupes concernés doivent être impliqués dès la procédure de planification. Il peut s'agir des interlocuteurs suivants :

— responsables politiques (par ex. conseil communal ou municipal) ;

— autorités chargées des constructions (par ex. service des ponts et chaussées, service de l'aménagement, service des constructions, etc.) ;

— responsables des finances ;

— exploitants de l'éclairage public (canton ou commune, parfois entreprises électriques ou tiers) ;

— spécialistes de l'éclairage, planificateurs éclairagistes ;

— responsables de la sécurité publique (par ex. police, service de l'urbanisme, etc.) ;

— autorités de protection de l'environnement et de la nature ;

— population ;

— autres acteurs, tels que l'administration des écoles, les organisations de protection de l'environnement, etc.

[C] Calcul de l'éclairage / plan d'éclairage public

Qu'il s'agisse d'assainir un éclairage public existant (changement de type de lampes) ou d'en mettre en place un nouveau, il est recommandé de recourir à un spécialiste et de lui confier les calculs nécessaires. Cela permet de choisir, dans chaque cas concret, les lampes les plus appropriées, et de déterminer leur positionnement et leur orientation optimaux (voir chap. 3.1.4 point [5]).

3.1.4 Mesures de limitation des émissions des éclairages publics

Les mesures ci-dessous peuvent contribuer à réduire les émissions que les éclairages publics induisent pour leur environnement. La numérotation des mesures se réfère au plan en sept points dans la Figure 2 du chapitre 2.

[2] Gestion dans le temps / système de commande fondé sur les besoins

N'éclairer que si la lumière est nécessaire. L'intensité d'éclairage requise peut varier en fonction des conditions ou du moment de la journée.

— À quels moments du jour ou de la nuit l'éclairage est-il nécessaire ?

— Est-il possible de réduire l'éclairage ou même de l'éteindre durant la nuit ?

— Un éclairage dynamique ou flexible est-il possible ?

[2a] Réduction ou extinction de l'éclairage durant la nuit

Selon l'ensemble de normes SN EN 13201 actualisé en 2016, l'éclairage d'une route peut être réduit durant certaines périodes : lorsque le trafic est faible, que la composition de celui-ci change ou que la clarté des alentours diminue (par exemple parce que des vitrines ne sont plus illuminées) (SLG 202).

De telles réductions peuvent se faire en fonction d'un profil de variation défini dans le temps, avec par exemple une légère diminution dès 21 heures et un abaissement plus marqué de l'intensité d'éclairage dès 23 heures. Sur les routes qui ne sont presque pas ou pas du tout fréquentées durant la nuit, l'éclairage peut être complètement éteint (Topstreetlight 2015).

La réduction ou l'extinction de l'éclairage durant la nuit sont devenues la règle de nos jours pour les nouvelles installations. Un système de commande intelligent de l'éclairage public permet d'obtenir des économies d'énergie presque identiques à celles induites par l'extinction de l'installation la nuit

(voir A2.5). Le fait d'éteindre les réverbères est mieux accepté par la population lorsque des mesures d'accompagnement sont mises en œuvre.

Exemples pratiques : extinction nocturne et mesures d'accompagnement (« Fête de la nuit »)

Au Liechtenstein, c'est à chaque fois en été que l'on a procédé à l'extinction ou à la réduction de l'éclairage public la nuit. Certaines communes ont mis en place des phases d'essai durant lesquelles la lumière a tout d'abord été éteinte à titre expérimental. Des événements d'information ont accompagné ces tests, puis des enquêtes menées auprès de la population ont permis de vérifier dans quelle mesure celle-ci approuvait la solution proposée. Pour répondre aux peurs liées à l'extinction de l'éclairage (par ex. en matière de sécurité), il est important de procéder à des enquêtes, parce que ces craintes ne sont généralement pas exprimées lors de manifestations publiques. Plus des deux tiers de la population de Planten et même plus des trois quarts de celle de Triesenberg se sont ainsi prononcés en faveur de l'extinction de l'éclairage la nuit, si bien que cette mesure a été introduite de manière définitive une fois la phase de test terminée (A. Matt, comm. pers., 2015).

La commune de Corgémont (JU) constitue également un exemple intéressant, parmi de nombreux autres : depuis novembre 2014, elle éteint son éclairage public entre 0 h 30 et 5 h 30. Ce changement a été précédé d'une mesure d'accompagnement particulière, qui a pris la forme d'une « Fête de la nuit ». Pour sensibiliser la population, cette manifestation a proposé des informations diversifiées ainsi que des exemples concrets. En février 2015, après une phase d'essai de quatre mois, quelque 59 % de la population a approuvé le maintien de l'extinction de l'éclairage. Cette décision a réduit les émissions lumineuses, mais elle a aussi permis à la commune d'économiser 42 % de sa consommation énergétique dévolue à l'éclairage public (Klopfenstein 2015, Debrot 2015).

[2b] Réduction flexible de l'éclairage la nuit

Lorsque le flux de véhicules est mesuré en temps réel pour une période donnée (par exemple grâce à un détecteur vidéo), l'éclairage LED du tronçon routier concerné peut s'adapter de manière uniforme et immédiate au volume de trafic. Ces systèmes d'éclairage qui « observent » le trafic ont passé avec succès un test pratique dans le cadre de premiers projets pilotes.

Exemple pratique : un éclairage qui « observe » le trafic

En octobre 2015, 27 lampes LED pilotées en fonction du flux de tous les usagers des transports ont été installées le long d'un tronçon d'environ un kilomètre à Urdorf, dans le canton de Zurich. Un détecteur vidéo monté sur l'un des réverbères mesure le nombre de véhicules en temps réel. Les données sont ensuite transmises à une unité centrale de commande qui établit le lien entre le volume de trafic et les exigences d'éclairage définies par les normes, avant de communiquer aux lampes par radio l'intensité lumineuse appropriée. Cela permet d'adapter l'éclairement au volume de trafic effectif, de manière uniforme et simultanée sur l'ensemble du tronçon.

Une année d'exploitation pilote a montré que ce système de commande automatique de l'éclairage public fonctionnait de manière très fiable. Il permet d'économiser 30 % d'énergie par rapport aux tronçons qui éteignent l'éclairage pendant quelques heures durant la nuit. De plus, la population n'a exprimé aucune réclamation pendant la période de test (Haller 2016, Aeberhard 2016).

[2c] Éclairages dynamiques

Lorsque des lampes LED sont combinées avec des détecteurs de mouvement, l'éclairage d'une route peut aussi être adapté aux divers usagers de celle-ci :

— Ces éclairages dynamiques permettent de réduire les émissions lumineuses et d'économiser de l'énergie, sans affecter la sécurité du trafic.

— L'allumage et l'extinction de l'éclairage devraient se faire doucement, sur un certain laps de temps (Topstreetlight 2015). Cela évite d'incommoder les riverains.

— Il convient de tenir compte de la sécurité au sein de la société : les piétons qui se déplacent seuls ne devraient pas être exposés du fait de cet éclairage dynamique.

Exemple pratique : éclairages LED entièrement dynamiques

Les lampes LED entièrement dynamiques sont désormais utilisées en de nombreux endroits. C'est par exemple le cas à Yverdon-les-Bains depuis 2010 ou en ville de Coire ainsi que sur les routes cantonales bernoises depuis 2015 (voir A2.5).

En 2009, les services industriels de la ville de Saint-Gall ont été parmi les premiers à expérimenter en Suisse divers éclairages LED dynamiques. Les premiers essais leur ont fourni d'importantes connaissances et valeurs expérimentales qu'ils ont utilisées trois ans plus tard pour mettre en place un éclairage public LED entièrement dynamique dans un quartier résidentiel, le long de la *Hüttenwiesstrasse*. Ce système inclut un éclairage de base qui permet aux cyclistes et aux piétons de voir suffisamment pour rentrer chez eux en toute sécurité. En raison des avis exprimés par la population, ce niveau de base a été fixé à 50 %, contre 30 % dans le projet initial. Lorsque des voitures s'approchent, elles sont repérées par des détecteurs radar montés sur les lampadaires, et l'éclairage passe à 100 %. Les lampes suivantes sont alors enclenchées par signal radio, si bien qu'un tapis de lumière précède l'automobiliste. Après quelque 120 secondes sans mouvement, elles retournent progressivement à l'éclairage de base (voir Figure 6).

En 2014, les services industriels de Saint-Gall ont remplacé les lampes à vapeur de sodium haute pression de la *Demutstrasse*. Comme cette route traverse une zone relativement naturelle, l'éclairage devait se limiter au strict nécessaire. Pour cela, on a recouru à un éclairage LED avec système de commande intelligent et entièrement dynamique de la deuxième génération. Celui-ci peut distinguer les divers types d'usagers des transports et adapter l'éclairage en conséquence. Lorsqu'aucun véhicule ni aucune personne ne se trouvent sur la route, les lampes restent en mode veille et ne produisent pas de lumière. Si les détecteurs repèrent un piéton, les deux lampes suivantes se règlent sur 30 %. Lorsqu'un véhicule s'approche, les cinq réverbères suivants passent à une intensité de 100 %. Malgré la complexité de la technique utilisée, cette installation dynamique a fonctionné sans panne et de manière stable après sa mise en service (Etter 2015).

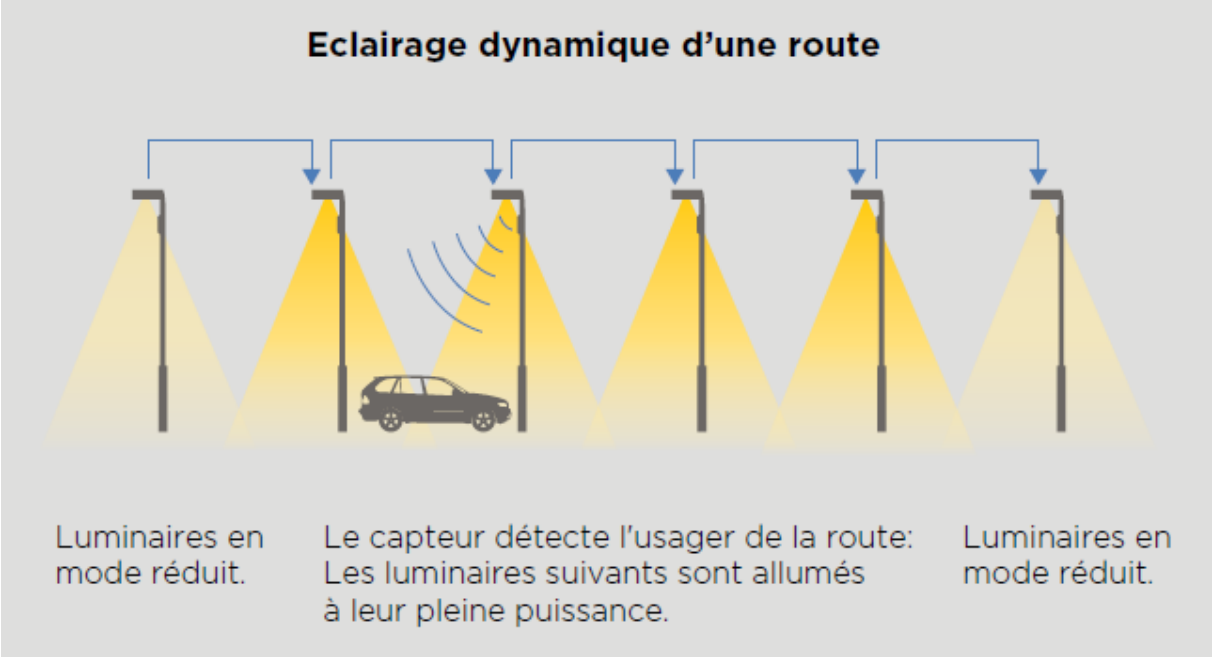


Figure 6 : Pilotage dynamique de l'éclairage d'une route (source : Topstreetlight 2015)

[3] Intensité / clarté

N'éclairer qu'autant que nécessaire. L'ensemble de normes SN EN 13201 définit comment un tronçon de route doit être éclairé, en fonction de sa classe d'éclairage. Le principe est le suivant : respecter les valeurs des normes, mais sans les dépasser. De ce point de vue, les lampes LED présentent les avantages suivants (voir également A2.4 et A2.5):

— Comme les LED permettent de maintenir le flux lumineux constant sur une longue période[6], il n'est plus nécessaire de surdimensionner les éclairages publics comme on le faisait avec les technologies plus anciennes afin de garantir que la route soit encore éclairée conformément à la norme à la fin du cycle de vie des lampes.

— La norme SN EN 13201 permet de réduire l'éclairage d'une route durant les périodes à faible trafic. Comme les lampes LED s'allument sans délai et qu'on peut faire varier leur intensité en continu, le flux lumineux peut être adapté très précisément aux exigences de chaque classe d'éclairage, afin d'éviter une lumière excessive (voir [2] ci-dessus).

Le fait d'éclairer les rues avec l'intensité requise – mais pas davantage – contribue non seulement à réduire les émissions lumineuses, mais aussi à économiser l'énergie.

[4] Spectre lumineux / couleur de la lumière

Choix du spectre lumineux adapté au but d'éclairage et à l'environnement immédiat.

— La norme SN EN 13201 ne définit aucune exigence pour ce qui est de la couleur de la lumière ou du spectre lumineux.

— La plupart des personnes estiment que la lumière de couleur blanc chaud est plus agréable et plus naturelle que le rayonnement lumineux blanc froid.

— Actuellement, les lampes LED blanc chaud présentent encore une efficacité énergétique légèrement plus faible que les LED blanc froid ou blanc neutre. En revanche, la composante bleue de leur spectre lumineux – dont les effets biologiques sont particulièrement marqués – est généralement beaucoup moins importante (voir A2.5). Le conflit d'objectif qui oppose ainsi économie d'énergie et réduction des émissions lumineuses bleues doit être apprécié au cas par cas. Du point de vue de la diminution de la consommation d'électricité, la principale étape consiste à remplacer les lampes à vapeur de mercure par des LED. En comparaison, le gain supplémentaire obtenu en optant pour des LED blanc neutre plutôt que blanc chaud demeure modeste.

— Dans la pratique, les lampes LED utilisées dans les centres-villes, les zones piétonnes, les quartiers et les rues résidentielles émettent la plupart du temps une lumière blanc chaud d'une température de couleur de 3000 K, alors que l'éclairage fonctionnel des routes est plutôt blanc neutre (4000 K). Les lampes dont la température de couleur est de 5000 K ou plus ne sont que rarement utilisées (Humm 2015).

[5] Choix et positionnement des lampes

— Qu'il s'agisse d'assainir un éclairage public existant (changement de type de lampes) ou d'en mettre en place un nouveau, il est recommandé de recourir à un spécialiste et de lui confier les calculs nécessaires. Cela permet de choisir, dans chaque cas concret, les lampes les plus appropriées, et de déterminer leur positionnement et leur orientation optimaux.

— Au moment de choisir le type de lampe, il faut non seulement veiller à ce que celui-ci illumine le plus précisément possible la surface visée, mais également éviter les émissions lumineuses superflues dans les alentours. Dans ce contexte, les calculs d'éclairage déjà mentionnés peuvent s'avérer utiles s'ils ne se limitent pas à la route et aux trottoirs, mais couvrent également les surfaces ou éléments des alentours (éclairement vertical des immeubles d'habitation voisins.)

[6] Cela peut se faire à l'aide de la technologie CLO (« constant light output »). Toutefois, les LED les plus récentes présentent désormais des symptômes d'usure si faibles (facteur de maintenance très élevé) que leur flux lumineux reste pratiquement constant sur toute leur durée de vie même sans technologie CLO.

— Pour le cas où il est trop compliqué de simuler une situation concrète avec le parcours précis de la route et les immeubles résidentiels qui la bordent effectivement, l'Association suisse pour l'éclairage (SLG) a défini une procédure d'évaluation permettant de comparer les résultats des calculs effectués pour différentes lampes du point de vue de leurs émissions dans le voisinage (SLG 202). Cela permet au planificateur éclairagiste d'identifier le type de lampe le plus approprié pour la situation étudiée.

— Plus les lampes sont éloignées des logements ou des espaces naturels dignes de protection voisins, plus les immissions qu'elles y provoquent sont faibles. Par conséquent, il faut si possible placer les lampes au milieu de la route ou sur le côté de celle-ci où se trouvent les espaces les moins sensibles aux effets de la lumière.

— En optimisant la hauteur du point lumineux, il est possible de diminuer la portée des lampes ainsi que les émissions qu'elles produisent en direction des logements voisins.

— La portée peut encore être réduite en montant à l'horizontale un verre de protection plat. En effet, lorsque le verre de protection est bombé, tout son volume est illuminé et la lampe se voit de loin.

— Les lampes doivent être hermétiques de manière à ce qu'aucun petit organisme vivant – insecte ou araignée, par exemple – ne puisse y pénétrer.

[6] Orientation de l'éclairage

— Il convient d'éclairer systématiquement de haut en bas, afin d'éviter les rayonnements superflus émis vers le ciel nocturne.

— Là où l'on souhaite éviter un « effet de tunnel ou de caverne » en illuminant modérément les façades à certaines heures, on peut recourir à des systèmes qui peuvent être enclenchés différemment en fonction de l'heure de la nuit (voir chap. 3.5).

— Lors du montage, la tête de la lampe doit être orientée précisément afin de n'éclairer que ce qui doit l'être.

[7] Écrans protecteurs

— Dans des cas problématiques spécifiques, il est possible de restreindre encore les émissions dans l'environnement grâce à des écrans protecteurs supplémentaires montés sur les lampes.

3.2 Autres infrastructures de transport (gares, arrêts de transports publics, etc.)

3.2.1 Généralités

À côté des routes, les infrastructures d'autres moyens de transport – trains, trams, bus, avions – peuvent aussi constituer des sources d'émissions lumineuses pour leur environnement.

L'éclairage des arrêts des transports publics et des quais sert tout d'abord aux usagers, qui les repèrent ainsi plus facilement, peuvent mieux s'y orienter (pour lire l'horaire affiché, par exemple), s'y sentent en sécurité et voient suffisamment pour ne pas trébucher lorsqu'ils embarquent, ni tomber du quai sur les voies.

D'autre part, grâce à l'éclairage des arrêts, les chauffeurs de tram ou de bus peuvent repérer les passagers qui s'y trouvent. Dans les gares, l'éclairage permet aux mécaniciens des trains qui y entrent ou y passent sans s'arrêter d'apercevoir les personnes se tenant trop près des voies et de les avertir si nécessaire par un coup de sifflet.

Par ailleurs, certaines zones des gares, des faisceaux de voies ou des aérodromes sont aussi éclairées la nuit pour permettre les activités de triage ou de transbordement.

Pour le dimensionnement des éclairages de ce type, on se réfère fréquemment à la norme SN EN 12464-2 « Éclairage des lieux de travail – Partie 2 : Lieux de travail extérieurs ». À côté d'exigences

d'ordre général pour l'éclairage des lieux de travail extérieurs, celle-ci propose aussi des prescriptions concernant l'éclairage des quais et des installations ferroviaires, ainsi que de diverses zones de travail des aéroports (secteur de chargement, dépôt de carburant, maintenance des avions).

En 2014, le Tribunal fédéral a émis un arrêt principal portant sur les émissions d'un éclairage de gare dans les alentours de celle-ci, ainsi que sur leur limitation.

3.2.2 Arrêt principal du Tribunal fédéral concernant l'éclairage d'une gare (ATF 140 II 214)

En juillet 2007, les Chemins de fer fédéraux (CFF) ont entièrement renouvelé l'éclairage de la gare d'Oberrieden See dans le canton de Zurich. Des lampes combinées sur pied ont été installées dans les parties du quai qui ne sont pas couvertes, et l'éclairage a également été remplacé sous la toiture du quai et dans la salle d'attente. Suite à des réclamations de riverains, les CFF ont pris diverses mesures de limitation des émissions à la source : ils ont changé les lampes de couleur blanc froid par des lampes blanc chaud, réduit l'éclairage après la fin de l'exploitation et monté des tôles perforées et des grilles paralumes sur les lampes de la toiture et sur les lampes combinées sur pied, afin de réduire leur visibilité et leur caractère éblouissant.

Deux voisins, propriétaires d'un bien résidentiel situé à quelque 80 m sur le versant en amont de la gare, ont estimé que l'éclairage nocturne restait excessif au sens de la loi sur la protection de l'environnement (LPE) même après la mise en œuvre de ces mesures. Ils ont donc déposé un recours et porté l'affaire jusqu'au Tribunal fédéral.

Le 2 avril 2014, le Tribunal fédéral a admis en partie leur recours. Dans son arrêt, il a rappelé le principe selon lequel il convient d'éviter les immissions de lumière superflues dans la mesure que permettent l'état de la technique et les conditions d'exploitation et pour autant que cela soit économiquement supportable. Cette obligation découle du principe de précaution inscrit dans la loi sur la protection de l'environnement (voir A1.2.1).

Lors de l'évaluation de la situation concrète en gare d'Oberrieden See, le Tribunal fédéral a aussi accordé une importance considérable au fait que les bords du quai doivent être éclairés pendant toute la durée d'exploitation de la gare, pour des raisons de sécurité. Il faut éviter que des personnes chutent sur les voies ; les mécaniciens des trains devraient en outre pouvoir repérer et avertir les personnes qui se trouvent trop proches de celles-ci (Tribunal fédéral 2014).

Au vu de cette exigence, le Tribunal fédéral n'a rien trouvé à redire à l'éclairage des zones non couvertes du quai. En revanche, il a estimé que l'éclairage beaucoup plus intense de la partie centrale couverte n'était pas nécessaire, du point de vue de l'exploitation, pour garantir la sécurité du trafic ferroviaire – du moins pas durant la période de repos nocturne (de 22 h à 6 h). Selon lui, une réduction de l'intensité est économiquement supportable et techniquement possible sans difficulté.

Le Tribunal fédéral a par conséquent ordonné que l'éclairage soit réduit de moitié environ entre 22 heures et 6 heures sur le quai couvert qui peut être vu directement par les recourants. Les CFF disposent d'une certaine marge d'appréciation pour la mise en œuvre de la décision. La seule mesure que le tribunal a exigée de manière contraignante concerne l'extinction à 22 heures de deux lampes situées sur la toiture du quai, qui éclairaient une affiche publicitaire visible depuis la propriété des recourants.

Exemples pratiques de mise en œuvre de l'arrêt principal ATF 140 II 214 dans d'autres gares

Bien que les arrêts d'un tribunal ne correspondent pas en soi à une législation et se réfèrent toujours concrètement à l'affaire à juger, ils contribuent à préciser la manière dont le droit en vigueur doit être interprété. Dans son arrêt ATF 140 II 214 du 2 avril 2014 sur la gare d'Oberrieden See, le Tribunal fédéral a rappelé le principe selon lequel les immissions lumineuses superflues, au sens de la LPE, doivent être évitées dans la mesure que permettent l'état de la technique et les conditions d'exploitation et pour autant que cela soit économiquement supportable. Il a également confirmé qu'un éclairage qui n'est pas indispensable à la sécurité (de l'exploitation ferroviaire, dans le cas présent) doit être éteint ou réduit entre 22 heures et 6 heures.

Dans la pratique, les entreprises ferroviaires disposent de plusieurs options pour mettre en œuvre ces principes lors du renouvellement de l'éclairage d'une gare. Elles peuvent notamment profiter des nouvelles possibilités offertes par les lampes LED : ces dernières peuvent être dirigées de manière plus précise et on peut régler leur intensité très rapidement et plus exactement qu'avec les technologies précédentes (voir A2.4). Parallèlement à la réduction des émissions lumineuses, cela permet aussi de diminuer les coûts énergétiques (voir A2.5).

Les CFF, par exemple, classent leurs gares en quatre catégories, en fonction du nombre de passagers. Pour chaque catégorie, la norme SN EN 12464-2 indique avec quelle intensité il faut éclairer les quais. Comme l'éclairement exigé par la norme dépend de la fréquentation, qui varie pour sa part en fonction du moment de la journée, les CFF font reculer leurs gares d'une ou deux catégories de 22 heures à la fin de l'exploitation, ainsi que du début de l'exploitation jusqu'à 6 heures, ce qui permet aussi de réduire l'éclairage.

Autre exemple : les Südostbahnen (SOB) équipent toutes les nouvelles lampes LED de détecteurs de mouvements. Pendant les heures d'exploitation, ces équipements fournissent un éclairage de base correspondant à 10 % de l'éclairement maximal. Dès que des personnes se tiennent sur le quai ou qu'un train entre en gare, l'éclairement passe à 80 %, ce qui permet de respecter la norme. Après deux minutes sans activité sur le quai, l'intensité est ramenée à 10 %. En dehors des heures d'exploitation, l'éclairage est tout simplement éteint (0 %), mais la lumière s'allume (80 %) si les détecteurs de mouvements signalent une activité. Dans ce cas également, l'intensité repasse à 0 % après deux minutes sans mouvement détecté.

Une autre entreprise ferroviaire, BDWM Transport AG, a appliqué en gare de Bremgarten West un plan destiné à éclairer partiellement les quais, en fonction des besoins. Sur le quai de la voie 3, les cinq lampadaires LED ne sont allumés que lorsque cette voie est utilisée. Et sur le quai de la voie 2, les trois lampes LED du secteur non couvert sont éteintes après 21 heures 30, lorsque seuls des trains en rame simple circulent encore. L'éclairage du secteur couvert du quai est alors suffisant.

3.2.3 Recommandations destinées aux autorités chargées d'autoriser les éclairages d'autres infrastructures de transport (gares, arrêts de transports publics, etc.)

— Lorsque la construction ou la transformation d'une gare ou d'un arrêt des transports publics touche aussi l'éclairage, les documents mentionnés à la section 2.4 permettent d'apprécier si les dispositions du droit fédéral concernant la limitation des émissions lumineuses (voir chap. 1.7) sont respectées.

— Dans le cas des gares, ces documents servent aussi à évaluer si l'éclairage est conforme aux principes définis dans l'arrêt principal ATF 140 II 214 (entre 22 heures et 6 heures, réduction de l'éclairage superflu du point de vue de la sécurité).

3.3 Infrastructures sportives

3.3.1 Généralités

Une grande partie des installations sportives éclairées sont bâties en zone urbaine ou à proximité. La nuit, cependant, on éclaire aussi de plus en plus d'infrastructures sportives situées en pleine nature, par exemple des pistes de ski alpin, de ski de fond ou de luge, des parcours de jogging en forêt, des itinéraires de kayak ou des manèges ouverts.

La norme SN EN 12193 « Lumière et éclairage – Éclairage des installations sportives » (voir A1.4.2) indique comment éclairer les espaces et les terrains utilisés pour les types de sport les plus fréquents, qu'il s'agisse d'installations fermées ou de plein air. Les valeurs qu'elle fournit pour l'éclairement, l'uniformité, la limitation de l'éblouissement et les propriétés de couleur des sources lumineuses peuvent être utilisées pour la planification et le contrôle de l'éclairage des installations sportives. À sa section 5.10 « Lumière indésirable », la norme SN EN 12193:2008 propose aussi des valeurs standard pour la limitation des émissions dans le voisinage.

Le groupe spécialisé « Éclairage d'installations sportives » de l'Association suisse pour l'éclairage (SLG) discute de questions pratiques liées à cette thématique. La SLG a publié des directives comprenant des compléments à la norme citée ci-dessus pour l'éclairage de divers types de sports. Celles-ci comprennent une partie générale ainsi que 13 parties spécifiques à un type de sport. La section 1.7 de la partie générale (SLG 301 : « Éclairage des installations sportives : Partie 1 – Principes, généralités ») fournit aussi des indications concernant la réduction des émissions lumineuses dans les alentours des installations d'éclairage ; ces références ont été prises en compte dans la section 3.3.2.3 de la présente aide à l'exécution.

3.3.2 Infrastructures sportives en zone bâtie

3.3.2.1 Généralités

L'éclairage d'infrastructures sportives de plein air (terrains d'entraînement, stades) nécessite souvent beaucoup de lumière. Les projecteurs LED dont on dispose pour l'instant sont rares à fournir des flux lumineux suffisants.

C'est la raison pour laquelle on continue d'utiliser aussi d'autres technologies, par exemple des lampes aux halogénures métalliques ou à vapeur de sodium haute pression. Or par rapport aux LED, il est plus difficile – voire impossible – de faire varier l'intensité de celles-ci. L'installation peut toutefois être équipée de divers **modes d'allumage** fournissant un éclairage d'intensité variable selon qu'il s'agit d'un entraînement ou d'une compétition. Ainsi, sur un terrain de football qui doit être illuminé avec un éclairement horizontal de 120 lux durant des matchs de championnat dans des ligues amateurs, on peut par exemple installer un mode d'éclairage de 80 lux pour les entraînements. Et sur un terrain qui peut être éclairé à 200 lux parce qu'il accueille des compétitions de première ligue ou de *Challenge league*, on peut prévoir des modes d'allumages supplémentaires de 80 et 120 lux, en veillant toutefois à respecter également les exigences d'uniformité de l'éclairage (EBP 2016, SLG 302).

Le **type de projecteur** utilisé a une grande influence sur les possibilités de restreindre la lumière à la surface visée. On distingue essentiellement deux types de projecteurs : à rayonnement symétrique ou asymétrique. Lorsque la hauteur du point lumineux ne dépasse pas 20 m, les projecteurs asymétriques limitent mieux l'éclairage à la surface visée que les projecteurs dont la lumière est répartie symétriquement. De plus, dans bien des cas, ils correspondent à l'état de la technique actuelle (SLG 301, voir Figure 7).

Les explications ci-dessus concernant le type de projecteur s'appliquent aussi aux éclairages de terrains de sport utilisant des LED. De nombreux producteurs proposent des projecteurs LED symétriques, qui induisent plus d'immissions dans les alentours que les projecteurs asymétriques. Des différences de qualité importantes peuvent cependant aussi exister entre plusieurs projecteurs asymétriques. Lors de la mise en place ou du renouvellement de l'éclairage d'infrastructures sportives, il est donc judicieux d'examiner au cas par cas leurs effets futurs pour ce qui est des immissions lumineuses dans l'environnement immédiat.

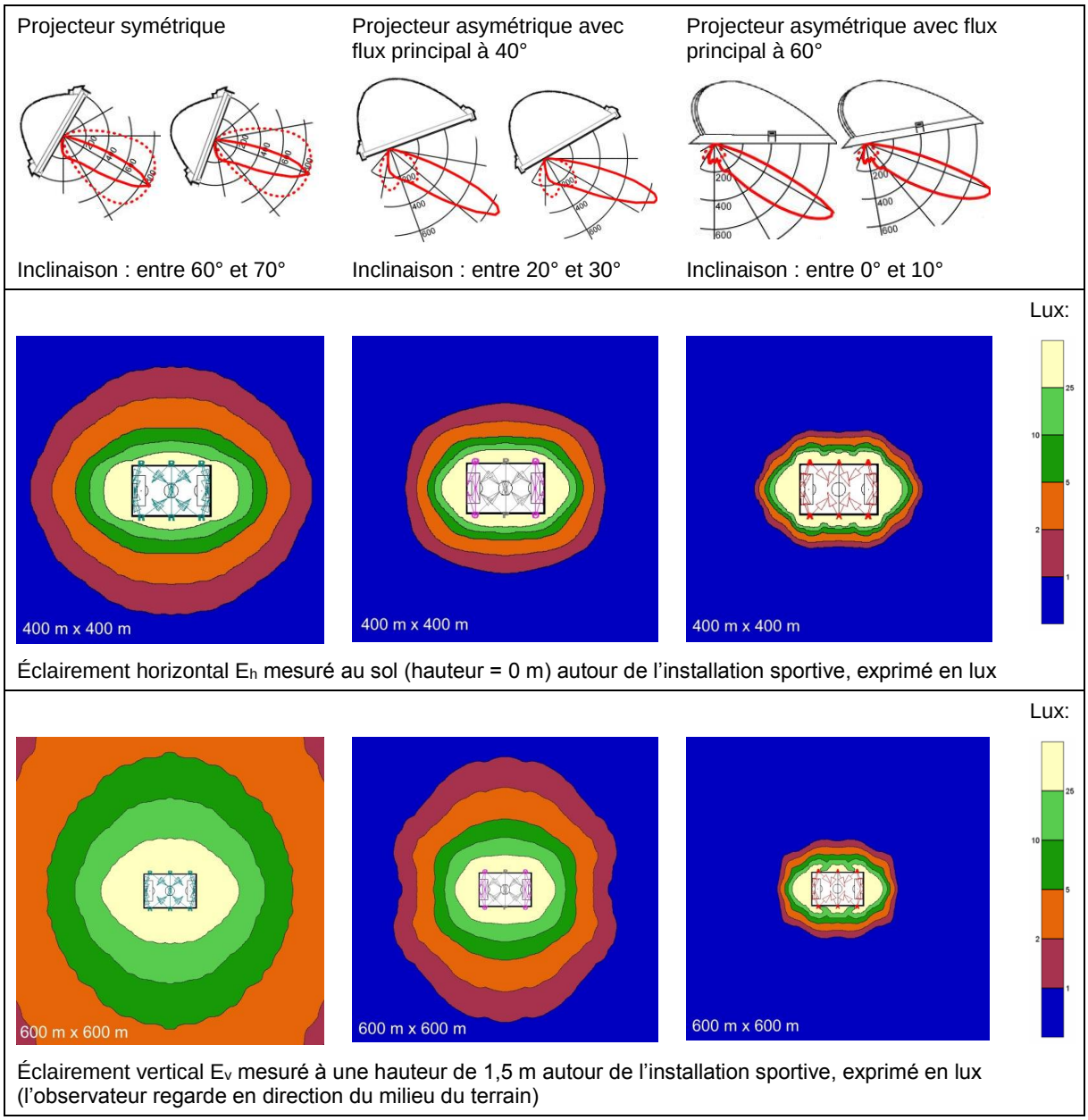


Figure 7 : L'exemple montre un terrain de sport de 100 m sur 64 m, éclairé par 12 lampes montées sur 6 poteaux à une hauteur de 16 m. Avec les trois variantes, l'éclairement horizontal moyen sur le terrain se monte à 200 lux. En fonction du type de projecteur utilisé, l'éclairage peut être restreint plus ou moins précisément à la surface visée. La rangée supérieure présente l'éclairement horizontal au sol, la rangée inférieure l'éclairement vertical à une hauteur de 1,5 m au-dessus du sol, en incluant dans les deux cas les alentours de l'installation sportive. Les surfaces en bleu correspondent à un éclairement inférieur à 1 lux. Cette valeur est comprise entre 2 et 5 lux dans les secteurs orange et entre 5 et 10 lux dans les zones vert foncé. C'est avec les projecteurs asymétriques présentant un flux principal à 60° (colonne de droite) que la valeur d'éclairement diminue le plus nettement lorsqu'on s'éloigne du terrain de sport (source : SLG 301).

3.3.2.2 Recommandations destinées aux autorités chargées d'autoriser les éclairages d'infrastructures sportives en zone bâtie

[A] Plan d'éclairage

La planification de l'éclairage des infrastructures sportives est une affaire de spécialistes. Ces derniers se réfèrent généralement à la norme SN EN 12193 « Lumière et éclairage – Éclairage des installations sportives » et aux directives complémentaires de la SLG (voir chap. 3.3.1) pour calculer, aménager et contrôler cet éclairage. Dans le cadre d'une procédure d'autorisation, il convient d'exiger un plan d'éclairage afin de pouvoir évaluer si l'installation prévue est correcte et si ses effets sur les alentours demeurent aussi restreints que possible. La section 2.4 mentionne d'autres documents utiles pour évaluer les émissions lumineuses.

[B] Prise en compte des alentours

Le plan d'éclairage doit aussi tenir compte des alentours de l'installation (logements, espaces naturels dignes de protection, topographie, etc.). Ceux-ci ont une influence sur le choix de l'emplacement et de la hauteur des poteaux, ainsi que sur le type et l'orientation des projecteurs (voir plus bas).

- *Illumination des locaux :*
  - Pour identifier les conflits potentiels entre l'installation d'éclairage prévue et les immeubles résidentiels des alentours, il convient de calculer l'éclairement vertical des façades concernées. Cela peut se faire assez facilement, puisque l'installation est généralement déjà intégrée à un modèle de calcul dans le but de simuler les conditions de lumière sur le terrain de sport lui-même. Le modèle utilisé peut alors être complété de surfaces verticales supplémentaires pour calculer l'éclairement vertical.
  - Pour la période allant jusqu'à 22 heures, l'évaluation peut se référer aux valeurs indicatives du tableau 1 figurant à la section 5.10 de la norme SN EN 12193:2008 (voir Tableau 8 à la section 4.3.3 de la présente aide à l'exécution). Les valeurs qui y figurent correspondent à des valeurs cibles qui peuvent être atteintes en l'état actuel de la technique. Elles concrétisent ainsi la limitation préventive des émissions voulue par la loi sur la protection de l'environnement (LPE ; prescriptions en matière de construction et d'équipement, ou en matière d'exploitation, au sens de l'art. 12, al. 1, let. b ou let. c, LPE).
  - Pour la période postérieure à 22 heures, il est recommandé d'appliquer les valeurs indicatives présentées à la section 4.3.2 de la présente aide à l'exécution. Celles-ci permettent d'évaluer si l'illumination des locaux est excessive dans un cas concret et s'il faut donc ordonner que les émissions soient limitées plus sévèrement, comme le prévoit l'art. 11, al. 3, LPE (second niveau).
- *Éblouissement incommodant pour l'homme :*
  - Il est difficile de prévoir un éblouissement incommodant. Pour s'en faire une idée sommaire, il faut déterminer s'il est possible de voir directement dans les lampes à partir de lieux d'immissions critiques situés dans les alentours. Le cas échéant, il faudrait tenter de rendre impossible une telle vision directe en recourant aux mesures techniques décrites plus bas.
  - Pour évaluer les situations existantes, on recommande d'examiner l'éblouissement incommodant en respectant la procédure et les valeurs indicatives présentées à la section 4.4.
- *Atteintes portées au milieu naturel :*
  - Il n'existe pas de valeurs indicatives permettant d'évaluer les conséquences pour les animaux nocturnes ou les milieux naturels dignes de protection. En la matière, il faut par exemple veiller à restreindre le plus possible les effets indésirables en choisissant des emplacements appropriés et des distances suffisantes (à ce sujet, voir aussi chap. 3.3.3).

[C] Définition d'un horaire d'exploitation contraignant

Pour protéger les riverains, l'exploitation ne devrait généralement pas se poursuivre après 22 heures et l'éclairage devrait alors être éteint le plus rapidement possible. En fonction de l'utilisation (entraînement ou compétition), des modes d'éclairage variables peuvent être définis pour différents jours et différentes heures. Il est possible de prévoir des dérogations pour des événements spéciaux.

3.3.2.3 Mesures de limitation des émissions lumineuses des éclairages de terrains de sport

Les mesures ci-dessous peuvent contribuer à réduire les émissions que les éclairages de terrains de sport induisent pour leur environnement (SLG 301, EBP 2016). La numérotation des mesures se réfère au plan en sept points dans la Figure 2 du chapitre 2.

[2] Gestion dans le temps / système de commande : prévoir des modes d'allumage

Lorsqu'il n'est pas possible de faire varier l'intensité des lampes utilisées, on peut adapter l'éclairement aux diverses utilisations (entraînement, compétition) à l'aide de modes d'allumage spécifiques (voir 3.3.2.1).

[3] Intensité / clarté : ne pas aller au-delà des exigences de la norme

Il convient de prévoir un éclairement n'allant pas au-delà de ce qui est nécessaire et d'éviter l'éclairage excessif. Cela réduit aussi la consommation d'énergie.

[5] Positionnement des lampes : optimiser la hauteur et l'emplacement des poteaux

Sous certaines conditions, il peut être préférable d'utiliser un nombre plus élevé de poteaux avec des hauteurs de point lumineux plus faibles, plutôt qu'un nombre réduit de poteaux réunissant plus de lampes, si l'on souhaite diminuer les émissions lumineuses dans les alentours du terrain de sport.

[5], [6] Choix du type de projecteurs et orientation

Il faut utiliser les projecteurs les plus asymétriques possible, avec un flux principal à au moins 60°, et les installer avec un verre de protection horizontal ou faiblement incliné. Si l'inclinaison du verre de protection est plus importante (voir Figure 7, colonne de gauche et du milieu), la lampe – parce qu'elle peut être vue de loin – est susceptible d'éblouir davantage les riverains ou d'attirer un plus grand nombre d'insectes.

[7] Écrans protecteurs

En fonction des conditions, le rayonnement émis vers les alentours peut encore être restreint en montant des écrans et des grilles paralumes sur les projecteurs. Cependant, avec de tels ajouts, il peut être plus difficile de respecter les exigences définies en matière de technique d'éclairage pour le terrain de sport.

Les mesures de construction ou de plantation prise entre l'installation d'éclairage et ses alentours contribuent à éviter ou à affaiblir les effets de la lumière directe. Il faut toutefois noter que l'efficacité des plantations disparaît ou diminue nettement en automne et en hiver.

3.3.3 Infrastructures sportives en milieu naturel

3.3.3.1 Généralités

Avec l'éclairage des parcours de jogging en forêt, des itinéraires de kayak, des manèges ouverts ou des pistes de ski alpin, de ski de fond ou de luge, les activités sportives en pleine nature restent d'actualité après la tombée de la nuit, ce qui étend les possibilités d'entraînement pour les jeunes, accroît l'offre destinée à la population active ou augmente l'attrait des sites concernés pour les touristes (voir A2.1). Pour éclairer ces infrastructures en milieu naturel, on peut se contenter le plus souvent d'intensités beaucoup plus faibles que pour les terrains de sport en zone bâtie. Néanmoins, comme

leur environnement est naturellement plus sombre, ces éclairages peuvent aussi incommoder fortement les personnes affectées. En outre, les milieux naturels dignes de protection et les espèces sensibles à la lumière sont plus fortement affectés que dans la zone bâtie.

3.3.3.2 Mesures de limitation des émissions lumineuses des éclairages d'infrastructures sportives en milieu naturel

La numérotation des mesures se réfère au plan en sept points dans la Figure 2 du chapitre 2.

[1] Nécessité

Lorsqu'il s'agit d'éclairer des secteurs situés en pleine nature, les conflits d'objectifs entre protection et utilisation sont particulièrement vifs, en raison de l'environnement naturellement plus sombre de ces zones. Il est donc recommandé, dès qu'on commence à examiner si une infrastructure sportive doit être éclairée ou non, d'impliquer tous les milieux pertinents (tels que responsables politiques, acteurs touristiques, associations sportives, autorités et organisations de protection de l'environnement, etc., voir chap. 2.2).

[5] Choix de l'emplacement / positionnement des lampes

Une fois qu'on s'est décidé pour un éclairage, il convient d'en restreindre autant que possible les conséquences pour les alentours. Pour cela, il faut commencer par choisir soigneusement l'emplacement de l'infrastructure sportive et de l'installation d'éclairage. Dans ce contexte également, il est recommandé d'impliquer suffisamment tôt les services spécialisés et acteurs pertinents, et de déterminer quelles zones doivent être protégées en priorité des effets de la lumière. Lors du choix du site, on tiendra compte en particulier des éléments suivants :

— pas d'éclairage dans les zones de protection, dans les habitats d'espèces animales ou végétales protégées ou près des dortoirs ou sites de nidification ;

— maintien d'une distance suffisante par rapport à de tels milieux naturels dignes de protection ;

— préservation de corridors d'obscurité reliés entre eux ;

— réduction de la portée horizontale des lampes grâce au choix d'un emplacement approprié, à une hauteur de poteau limitée et à une orientation ciblée des sources de lumière.

[2] Gestion dans le temps / système de commande

Lors de l'élaboration d'un plan d'éclairage, il faut aussi tenir compte des éléments liés à la gestion dans le temps et au système de commande basé sur les besoins. À cette fin, les pistes suivantes peuvent être utiles :

— Ne pas éclairer tous les soirs : il convient de déterminer les jours de la semaine – ou un nombre maximal de jours par semaine – où l'éclairage est utilisé.

— Prendre en compte les conditions météorologiques : renoncer par exemple à l'éclairage en cas de brume, de couverture nuageuse à basse altitude ou de pluie.

— Tenir compte des saisons : prendre par exemple en considération les migrations des oiseaux au printemps et en automne.

— Prendre en compte la clarté ambiante naturelle : prévoir plutôt d'utiliser l'éclairage durant les nuits claires (pleine lune), par exemple, et y renoncer durant les nuits plus sombres (nouvelle lune).

— Fixer des heures maximales d'exploitation : afin de protéger les riverains, ainsi que la nature, l'exploitation ne devrait généralement pas se poursuivre après 22 heures et l'éclairage devrait alors être éteint le plus rapidement possible.

[3] Intensité / clarté

— Ne pas éclairer plus que nécessaire : il faut couvrir les besoins avec la quantité de lumière la plus faible possible. Cela permet aussi d'économiser l'énergie.

— Tenir compte de la clarté ambiante : dans un environnement sombre, une lumière peu intense peut suffire pour atteindre le but d'éclairage visé.

— En hiver, tenir compte du facteur de réflexion de la neige : en raison de la réflectance élevée de la neige, on peut obtenir des pistes de ski alpin ou de ski de fond suffisamment claires même avec des éclairements faibles.

[4] Spectre lumineux / couleur de la lumière

— Choisir soigneusement le spectre lumineux utilisé en fonction du but de l'éclairage, du lieu concerné et de ses alentours.

— Les effets biologiques de la lumière artificielle (attraction des insectes, perturbation du cycle veille-sommeil des organismes vivants) sont d'autant moins importants que la composante bleue de la source lumineuse est faible. Si l'on éclaire des infrastructures sportives en milieu naturel, il est ainsi recommandé d'utiliser une lumière comportant le moins de bleu possible, donc le blanc le plus chaud possible.

[6] Orientation

— Il convient d'éclairer de haut en bas afin d'éviter les rayonnements inutiles émis vers le ciel nocturne.

— Lorsqu'on détermine l'orientation des lampes, il faut aussi veiller à éviter la propagation de lumière diffuse dans les milieux naturels dignes de protection et à ne pas provoquer d'éblouissements incommodants dans les logements des alentours lorsque la topographie (dénivelé) induit un tel risque.

— L'éclairage doit s'adapter le mieux possible au terrain (tenir compte des irrégularités du relief, de la topographie, etc.).

[7] Écrans protecteurs

— La lumière doit être restreinte le plus précisément possible aux surfaces à éclairer. Le cas échéant, on montera des écrans protecteurs sur les lampes.

Exemple pratique : piste de ski nocturne éclairée à Bächli-Wiler

Dans le cadre de l'extension de l'infrastructure de ski de la région d'Urserental/Oberalp, dans le canton d'Uri, la société Andermatt-Sedrun Sport AG prévoyait notamment d'éclairer une piste de ski et le téléski de Bächli-Wiler qui la dessert, afin d'offrir aussi la possibilité de skier le soir ou la nuit. Or la piste passe à proximité d'immeubles résidentiels (voir Figure 8).

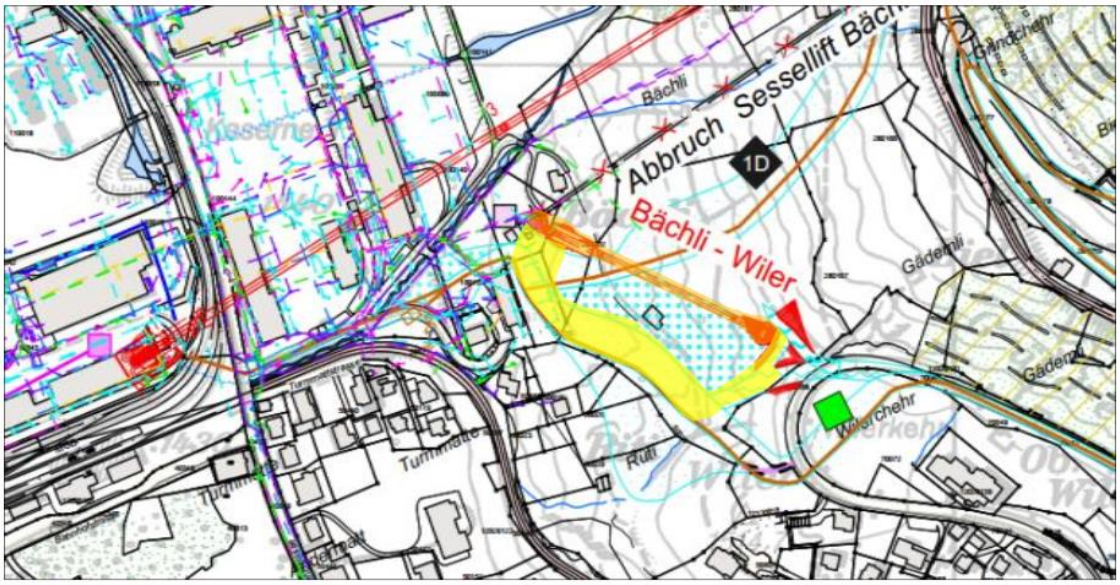


Figure 8 : Tracé prévu du téléski de Bächli-Wiler ouvert pendant la nuit. Le tronçon de piste qui doit être éclairé est signalé en jaune, alors que le remonte-pente à éclairer apparaît en orange (source : EBP 2014).

Afin de coordonner entre eux les divers intérêts d'utilisation et de protection, le maître d'ouvrage a institué un groupe d'accompagnement intégrant les services spécialisés des autorités ainsi que les organisations environnementales. Au sujet de l'éclairage de la piste de ski, les membres de ce groupe se sont mis d'accord sur les compromis et réglementations suivants (EBP 2014, 2016) :

— L'utilisation nocturne doit surtout se faire durant les nuits qui sont de toute façon claires (pleine lune) ; on y renoncera en revanche durant les nuits sombres.

— L'exploitation doit en outre se limiter à deux nuits par semaine en moyenne. Exceptionnellement, il est aussi possible de skier la nuit durant plusieurs jours. Avant l'ouverture de la saison, un calendrier doit être établi et transmis aux autorités compétentes.

Les exigences ci-dessous ont été posées pour l'éclairage de la piste et du téléski (EBP 2014) :

— Lors de la conception de l'éclairage, il faut tenir compte de la réflectance élevée de la neige, qui fait qu'il est possible d'obtenir une clarté suffisante de la piste (mesurée à la luminance de celle-ci) avec des éclairements relativement faibles.

— Il convient de prévoir des lampes LED dont l'intensité peut varier, de manière à ce que l'éclairage puisse être limité à ce qui est indispensable. L'intensité de l'éclairage de la piste de ski nocturne doit être adaptée à la lumière du crépuscule.

— Au moment de fixer l'heure de la fin du ski nocturne, on tiendra compte de l'intérêt public, ainsi que des effets incommodants qui affectent les riverains.

3.4 Installations industrielles, chantiers et lieux de travail extérieurs

3.4.1 Généralités

Pour différentes raisons, l'éclairage des installations industrielles, des chantiers et des lieux de travail extérieurs peut induire des conflits liés aux émissions lumineuses (EBP 2016, Tschanz 2015) :

— Les grandes installations liées à l'industrie ou à d'autres types d'entreprises se trouvent souvent à la périphérie des zones bâties. La clarté des alentours y est généralement faible, si bien que les éclairages s'y remarquent beaucoup et peuvent avoir un effet gênant pour les riverains. En outre, la distance par rapport aux habitats naturels y est aussi moindre, ce qui accroît le risque d'effets négatifs sur les espèces animales nocturnes sensibles à la lumière.

— Avec les exploitations situées en zone mixte, c'est en particulier l'éclairage (intérieur) allumé tôt le matin qui peut illuminer des séjours et chambres à coucher dans les immeubles voisins.

— Dans le cas des chantiers, des projecteurs peuvent aussi provoquer un éblouissement direct. Durant la nuit, lorsque personne n'y travaille, ce sont les éclairages montés sur les grues (et notamment les éclairages publicitaires) qui peuvent être perçus comme gênants.

Selon l'ordonnance sur la prévention des accidents (OPA, RS 832.30), les locaux, les postes de travail et les passages à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments doivent être éclairés de telle sorte que la sécurité et la santé des travailleurs ne soient pas mises en danger. Pour les lieux de travail extérieurs, la norme SN EN 12464-2 « Éclairage des lieux de travail – Partie 2 : Lieux de travail extérieurs » définit comment ceux-ci doivent être éclairés, du point de vue du confort et de la performance visuels, pour que les travaux puissent être menés avec un risque d'accident aussi faible que possible. Cette norme traite notamment :

— les installations de chargement et de déchargement ;

— les chantiers ;

— les installations industrielles et les aires de stockage ;

— les stations-service ;

— les secteurs de chargement et de maintenance des aéroports ;

— les quais et autres secteurs des gares (voir les informations supplémentaires de la section 3.2).

Dans sa section 4.5, la norme SN EN 12464-2:2014 propose en outre des valeurs indicatives – par exemple pour l'éclairement des façades des immeubles d'habitation voisins – afin d'atténuer l'effet gênant des éclairages extérieurs (pour des explications supplémentaires, voir l'annexe A1.4.2).

3.4.2 Recommandations pour la limitation des émissions lors de l'éclairage d'installations industrielles, de chantiers et de lieux de travail extérieurs

La numérotation des recommandations ci-après renvoie au plan en sept points visant à limiter les émissions lumineuses, tel qu'illustré par la Figure 2 du chapitre 2.

[1] Nécessité

— Pour les installations ou lieux de travail extérieurs qui doivent respecter des normes concernant l'éclairage, la nécessité de ce dernier ne doit pas être remise en cause. Aux autorités et aux détenteurs d'installations, il est recommandé respectivement d'exiger ou de soumettre, dans le cadre de la procédure d'autorisation, un plan d'éclairage et une documentation tels que décrits à la section 2.4.

[2] Gestion dans le temps / système de commande

— L'éclairage doit être entièrement éteint à la fin de l'exploitation.
À défaut, il convient de montrer de manière compréhensible pourquoi l'extinction totale n'est pas possible du point de vue de la technique ou de l'exploitation.

— Durant les heures d'exploitation, il faut aussi s'efforcer de n'éclairer que les surfaces où l'on travaille effectivement, grâce à des lampes et des possibilités de commande appropriées (détecteur de mouvement, par exemple). Dans le cas des stations-service, cela peut notamment impliquer de n'éclairer plus que les colonnes de distribution une fois le magasin fermé.

— Les émissions provenant des éclairages intérieurs peuvent aussi être réduites en n'éclairant que les locaux dans lesquels on travaille effectivement. Cela peut se faire à l'aide d'un système de commande intelligent de la lumière, qui détecte les personnes présentes. Cette solution permet aussi d'économiser de l'énergie.

[3] Intensité / clarté

— Lorsque des normes exigent une certaine clarté, le principe doit être le suivant : respecter les valeurs des normes, mais sans les dépasser.

— Dans le cas contraire, on tiendra compte de la clarté des alentours : dans un environnement plutôt sombre, une lumière peu intense peut suffire pour atteindre le but d'éclairage visé.

— Les endroits potentiellement dangereux peuvent être mis en évidence à l'aide d'un éclairage ponctuel spécifique (par exemple autre intensité ou autre couleur de lumière que l'éclairage de base).

[4] Spectre lumineux / couleur de la lumière

— Choisir soigneusement le spectre lumineux utilisé en fonction du but de l'éclairage, de l'endroit et des alentours. Pour les lieux de travail extérieurs, certaines exigences s'appliquent parfois au rendu des couleurs de la source lumineuse utilisée, afin notamment que les couleurs de sécurité de la signalisation soient reconnues correctement.

[5] Choix et positionnement des lampes

— En augmentant le nombre de poteaux, en réduisant la hauteur des lampes par rapport au sol (« hauteur du point lumineux ») et en diminuant les flux lumineux, il est possible d'éclairer de manière uniforme et d'émettre moins de lumière dans l'environnement qu'avec des poteaux plus élevés (réduction de la portée de l'éclairage, guidage plus précis de la lumière).

— Par rapport aux lampes à rayonnement symétrique, les lampes à rayonnement asymétrique permettent de mieux restreindre la lumière aux surfaces que l'on souhaite effectivement éclairer.

[6] Orientation

— Il convient d'éclairer systématiquement de haut en bas, afin d'éviter les rayonnements superflus émis vers le ciel nocturne.

— Le verre de protection de la source de lumière doit être le plus horizontal possible. Si l'inclinaison est plus importante, la lampe – parce qu'elle peut être vue de loin – est susceptible d'éblouir davantage les riverains ou d'attirer un plus grand nombre d'insectes.

[7] Écrans protecteurs

— Dans des cas problématiques spécifiques, il est possible de restreindre encore les émissions dans l'environnement grâce à des écrans protecteurs supplémentaires montés sur les lampes.

— Sur les chantiers temporaires, la visibilité et les émissions dans l'environnement peuvent aussi être réduites avec des cloisons protectrices supplémentaires ou d'autres mesures similaires.

— Dans les grands bâtiments ou dans les édifices comptant d'importantes surfaces de fenêtre, des stores, des volets ou des rideaux opaques permettent de réduire les émissions produites par l'éclairage intérieur en début de matinée ou en fin de soirée.

3.5 Espaces et places publics

3.5.1 Généralités

En ville, la vie sociale se développe en grande partie dans des zones piétonnes, des places publiques ou des parcs urbains. La nuit, l'éclairage de ces zones de rencontre doit garantir aux personnes une certaine sécurité et des possibilités de s'orienter, mais doit aussi créer une atmosphère agréable et engageante.

Pour cela, outre l'éclairement, d'autres aspects jouent un rôle, notamment la température de couleur ou les caractéristiques de rendu des couleurs de la lumière utilisée, de même que la possibilité de bien percevoir l'espace environnant et les traits du visage des personnes présentes. Bien des gens jugent que la lumière de couleur blanc chaud est plus agréable que la lumière de couleur blanc neutre. Lorsque le rendu des couleurs est bon, les personnes semblent en outre plus naturelles et moins blafardes que lorsque le spectre se concentre sur un domaine, comme c'est le cas de la lumière jaune-orange des lampes à vapeur de sodium basse pression. Par ailleurs, la reconnaissance des visages est plus aisée lorsque le rayonnement lumineux est diffus que lorsqu'il est fortement orienté. Quant à l'éclairage d'éléments verticaux tels que les façades, il évite un « effet de tunnel ou de caverne » souvent peu apprécié et facilite l'orientation et la perception de l'espace, ce qui améliore le sentiment de sécurité (voir annexe A2.3.4).

Certains de ces aspects contredisent à première vue les principes qui régissent la limitation des émissions lumineuses superflues, notamment le fait d'éclairer si possible de haut en bas et de n'orienter la lumière que vers les surfaces à illuminer. Cette contradiction est atténuée par le fait que l'éclairage des espaces et places publics – éléments verticaux inclus – peut déjà fonctionner avec des éclairements faibles ; il n'existe pas dans ce domaine de normes qui devraient être respectées. En privilégiant des éclairements (horizontaux) réduits, il est possible de restreindre fortement la lumière que le sol reflète vers le ciel nocturne. De plus, de nouvelles technologies offrent la possibilité d'éclairer les façades avec une grande précision (voir 3.6.2) ou d'aménager l'éclairage dans le temps de manière à ce que les façades ne soient plus illuminées à partir d'une certaine heure.

3.5.2 Recommandations pour la limitation des émissions lors de l'éclairage d'espaces et de places publics

La numérotation des recommandations ci-après renvoie au plan en sept points visant à limiter les émissions lumineuses, tel qu'illustré par la Figure 2 du chapitre 2.

[1] Nécessité

- L'éclairage des espaces publics devrait s'intégrer dans une stratégie générale d'éclairage ou un plan d'éclairage de grande envergure. La section 2.2 fournit des indications d'ordre général à ce sujet.
- Au moment de décider s'il est nécessaire d'éclairer un parc urbain la nuit, la fonction de celui-ci joue un rôle déterminant :
  - Si le parc est destiné en premier lieu à être fréquenté la journée, il n'est pas nécessaire de l'éclairer la nuit.
  - Si le parc remplit aussi une fonction la nuit, par exemple parce qu'il permet aux cyclistes et aux piétons de rejoindre directement d'autres endroits de la ville sans faire de grands détours, un éclairage conforme aux besoins peut s'avérer judicieux.
  - Dans ce contexte, il convient de veiller à ce que l'éclairage ne fasse pas croire à une sécurité qui n'existe peut-être pas en réalité. Ainsi, la lumière ne peut jouer son rôle de prévention des délits que si le contrôle social est possible. De même, un éclairage qui provoque des éblouissements peut accroître le risque d'accidents ou de délits (la section 2.2.2.4 fournit des indications supplémentaires sur la prise en compte des questions de sécurité dans les plans d'éclairage).

[2] Gestion dans le temps / système de commande

— Lorsqu'une place publique n'est plus fréquentée (par exemple après la fermeture des restaurants), on peut en réduire fortement l'éclairage.

— Dans les endroits où il est souhaitable que les façades soient elles aussi modérément éclairées à certaines heures pour éviter un « effet de tunnel ou de caverne », il est possible de recourir à des systèmes qui s'enclenchent de diverses manières en fonction de l'heure de la nuit et cessent d'illuminer les façades à un moment donné (voir l'exemple pratique ci-après).

[3] Intensité / clarté

— Un éclairage modéré suffit souvent pour une bonne perception de l'espace. On peut éventuellement mettre en évidence les endroits potentiellement dangereux à l'aide d'un éclairage ponctuel différent de l'éclairage de base.

— Lors de la conception de l'éclairage d'un espace public, les rues et places environnantes doivent également être prises en compte, afin d'éviter de créer de trop fortes différences de clarté entre les divers espaces. Lorsque les contrastes entre zones claires et obscures sont forts, un criminel potentiel peut plus facilement s'éclipser vers un environnement nettement plus sombre. Du point de vue de la criminalité, ce ne sont généralement pas les places historiques qui posent problème, mais plutôt les rues latérales (EBP 2016).

— En fonction de l'option retenue pour l'éclairage d'un parc, il faut créer des surfaces d'adaptation à sa périphérie, qui permettent un passage en douceur des zones plus claires aux zones plus sombres de la ville, ou inversement.

— Pour l'éclairage des chemins dans un parc, on veillera aussi à éviter les contrastes trop marqués entre clarté et obscurité, qui empêcheraient les personnes empruntant le chemin (trop) illuminé de percevoir ce qui se passe dans les alentours, un peu comme sous les projecteurs d'une scène. Parallèlement à la qualité de l'éclairage, un aménagement idoine des chemins et des points de repère (signalisation, absence de murs bloquant la vue) contribue aussi à améliorer la visibilité, tout comme une répartition et une gestion optimales des buissons, des haies et des arbres.

[4] Spectre lumineux / couleur de la lumière

— En pratique, afin de créer une atmosphère agréable et engageante sur les places et dans les parcs publics, on utilise le plus souvent de la lumière de couleur blanc chaud (malgré son efficacité énergétique légèrement plus basse), puisque la plupart des personnes la jugent plus agréable que la lumière blanc neutre ou blanc froid.

[5] Choix et positionnement des lampes

— S'il s'agit d'éclairer des façades dans leur ensemble ou de mettre en scène certains objets, le procédé de projection de lumière correspond aux meilleures techniques actuelles pour éviter les émissions lumineuses superflues (voir 3.6.2).

— Les lampes à caractère historique bénéficient souvent d'un solide soutien de la population, bien qu'elles soient peu efficaces, dirigent mal la lumière et puissent provoquer des éblouissements. En principe, on peut toutefois les équiper elles aussi d'une technologie LED et les adapter de manière à éviter les émissions lumineuses superflues.

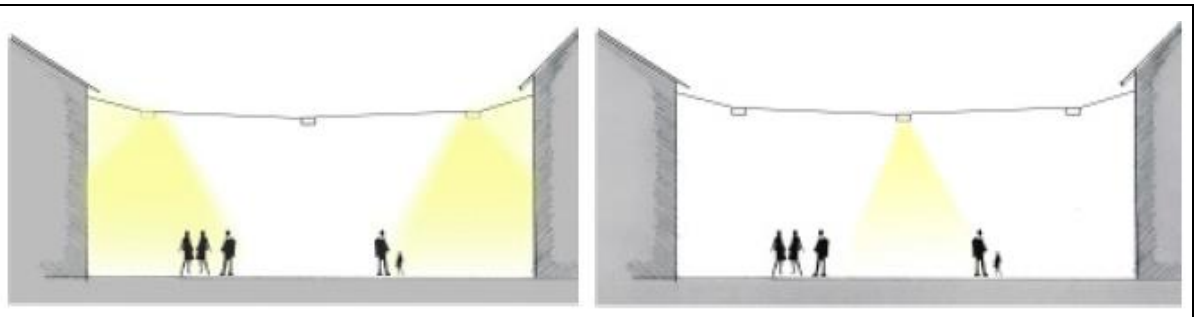
[6] Orientation

— Il convient d'éclairer systématiquement de haut en bas, afin d'éviter les rayonnements superflus émis vers le ciel nocturne.

— On s'abstiendra autant que possible d'éclairer les eaux laissées à l'état naturel, leurs rives ainsi que les arbres.

Exemple pratique : éviter l'effet de caverne sur les places publiques de Lucerne

Afin de créer une atmosphère à la fois agréable, décontractée et vivante dans le centre-ville de Lucerne, on y utilise essentiellement des lampes produisant une lumière blanc chaud et assurant un très bon rendu des couleurs. Pour éclairer les rues du centre, on a par ailleurs développé des appliques spéciales émettant un rayonnement direct/indirect : celles-ci comptent deux sources de lumière qui éclairent dans diverses directions et peuvent être allumées indépendamment l'une de l'autre. Durant les premières heures de la soirée, tout le volume de la rue est ainsi illuminé de manière à éviter un « effet de caverne ou de tunnel ». Plus tard dans la nuit, la source lumineuse dirigée vers les façades est éteinte : la lampe n'éclaire plus que vers le bas, en direction de la rue ou du trottoir. La méthode appliquée aux places est similaire, mais avec des lampes distribuées et allumées différemment (voir Figure 9).



Éclairage du soir créant une atmosphère agréable, avec façades illuminées

Éclairage réduit durant la nuit, qui laisse les façades dans l'obscurité

Figure 9 : Disposition schématique et mode de fonctionnement des lampes suspendues à des câbles qui sont utilisées à Lucerne pour éclairer les places du centre-ville. En début de soirée (à gauche), les lampes extérieures éclairent aussi les façades, ce qui met en évidence l'architecture, évite un effet de caverne et optimise la perception du lieu dans ses trois dimensions. La lampe du milieu reste éteinte. En fin de soirée ou durant la nuit, l'éclairage passe des lampes extérieures à la lampe médiane située au-dessus du milieu de la place (à droite). L'illumination des façades s'éteint, ce qui restreint les éventuels dérangements dans les logements voisins (source : Ville de Lucerne 2006).

3.6 Bâtiments et objets publics

3.6.1 Généralités

Autour des bâtiments publics (bâtiments administratifs, écoles, etc.), les **éclairages extérieurs** (des parvis et chemins d'accès, notamment) peuvent provoquer des émissions lumineuses. Dans le cas des bâtiments de grande taille (tels que tours ou hôpitaux) ou de ceux qui présentent d'importantes surfaces de fenêtre ou une cage d'escalier vitrée, l'**éclairage intérieur** peut aussi constituer une source considérable d'émissions si les fenêtres ne sont pas équipées de stores ou de volets.

Par ailleurs, pour des motifs esthétiques, les façades des bâtiments historiques ou des églises peuvent aussi être éclairées, tout comme les remparts ou les monuments. Par le passé, pour l'**illumination des façades et des objets**, on recourait surtout à deux méthodes : les projecteurs et les arrangements de plusieurs lampes.

Dans le premier cas, un ou plusieurs **projecteurs** sont installés à côté ou autour du bâtiment, afin d'inonder ses façades de lumière. Ce type d'éclairage peut être mis en place assez aisément, mais il n'est guère précis. Lorsque les projecteurs sont placés à proximité directe de l'édifice, une grande partie du rayonnement se perd dans le ciel nocturne, parce que l'éclairage est fortement orienté vers le haut. Quant aux projecteurs situés à une plus grande distance des façades, ils sont davantage susceptibles de provoquer des éblouissements (Ulmann 2015).

Un **arrangement de plusieurs lampes** consiste pour sa part en un nombre plus élevé de sources lumineuses de moindre intensité, qui sont montées directement sur la façade. Cela permet de mettre en valeur de manière précise les caractéristiques architecturales d'un bâtiment. Cette méthode prend du temps aussi bien pour le montage que pour l'entretien, parce qu'elle exige de tenir compte d'un grand nombre de points lumineux, de surfaces à éclairer et de valeurs photométriques. En fonction des sources de lumière utilisées, la consommation d'énergie peut aussi être considérable (Ulmann 2015, Cieslik 2010).

De 2004 à 2008, un « **procédé de projection de lumière** » a été développé dans le cadre d'un projet soutenu par la Commission pour la technologie et l'innovation (CTI) de la Confédération. Ce procédé combine les avantages techniques des projecteurs et des arrangements de lampes utilisés habituellement (éclairage à la fois précis et homogène des façades), mais diminue la consommation d'énergie et réduit les émissions lumineuses indésirables qui débordent des contours du bâtiment. Il repose sur une technologie de projection bien connue, qui a cependant été perfectionnée par une société privée en collaboration avec divers partenaires (Haute école des arts de Zurich, Haute école spécialisée du Nord-Ouest de la Suisse, Service de la protection de l'environnement et de l'urbanisme du canton de Bâle-Ville, ainsi que villes de Bâle, Lucerne et Zurich), dans le but de l'adapter aux éclairages extérieurs urbains, d'affiner son application et de préparer sa commercialisation (Cieslik 2010).

3.6.2 Procédé de projection de lumière

Avec le procédé de projection de lumière, l'éclairage des façades se fait grâce à un projecteur au moyen duquel une image du bâtiment – corrigée de l'effet de distorsion – est projetée sur la paroi de l'édifice concerné. Cette image est gravée au laser sur une plaque de verre recouverte d'une couche de chrome ; elle peut aussi être gravée par corrosion. Sur la plaque, les surfaces noires retiennent la lumière, alors que les secteurs transparents la laissent passer. On peut également représenter des degrés de clarté variables à l'aide de divers niveaux de gris. Ces masques dits « gobo » (pour *graphical optical blackout*) sont placés devant la source de lumière dans des projecteurs conçus à cet effet (voir Figure 10). Les premières années, les sources de lumière utilisées étaient des lampes aux halogénures métalliques, mais on recourt aussi aux LED depuis 2016. Les projecteurs peuvent être montés sur des poteaux ou fixés sur la façade d'un bâtiment voisin (Cieslik 2010).

En fonction de la clarté ambiante et des propriétés réfléchissantes de la façade, l'éclairement nécessaire pour mettre en scène un objet par projection de lumière peut sensiblement varier. Lorsqu'un projet d'éclairage de ce type est bien exécuté, le résultat s'avère tout d'abord convaincant au plan esthétique : « La lumière est agréable à l'œil, les contrastes, les saillies et les structures sont bien […] vi-

sibles » (Ulmann 2015, p. 140). D'autre part, l'éclairage précis réduit les émissions lumineuses superflues. Par ailleurs, les masques « gobo » permettent aussi d'exclure les secteurs de l'objet à éclairer qui doivent rester sombres, de manière par exemple à ce qu'aucune lumière ne dérange les oiseaux nichant dans les remparts.

Des mesures effectuées dans le cadre d'une étude de la Haute école spécialisée du Nord-Ouest de la Suisse ont confirmé que les bords du faisceau lumineux étaient nets et que la quantité de lumière débordant des limites du bâtiment ou des surfaces à éclairer était très réduite. Les problèmes identifiés par l'étude ne sont pas liés à la technique elle-même, mais à une éventuelle application excessive de ce procédé, qui peut survenir si les autorités, les propriétaires et les planificateurs ne choisissent pas soigneusement les objets à éclairer et n'établissent pas de priorités claires. Une fois qu'il a été décidé d'illuminer une façade ou un objet spécifique, le procédé de projection de lumière constitue la meilleure technique actuellement disponible du point de vue de la réduction des émissions lumineuses superflues (Kobler 2009).

Figure 10: Avec le procédé de projection de lumière, on peut illuminer les façades de manière très précise grâce à des masques contrastés qui filtrent le rayonnement du projecteur (source : opticalight).

3.6.3 Recommandations pour la limitation des émissions lors de l'éclairage d'objets et de façades de bâtiments publics

La numérotation des recommandations ci-après renvoie au plan en sept points visant à limiter les émissions lumineuses, tel qu'illustré par la Figure 2 du chapitre 2.

[1] Nécessité

— L'éclairage ou l'illumination de certains objets ou bâtiments publics devraient s'intégrer dans une stratégie générale d'éclairage ou un plan d'éclairage de grande envergure. La section 2.2 fournit des indications d'ordre général à ce sujet.

— Les édifices anciens, tels que les remparts et tours historiques ou les églises, offrent souvent des lieux de nidification intéressants pour les oiseaux ou des refuges pour d'autres espèces animales. Si l'on a l'intention d'éclairer de tels objets, il est recommandé de faire examiner par le service de la protection de la nature si une illumination est possible et, le cas échéant, à quelles conditions (par exemple écrans protecteurs, pas d'éclairage durant la couvaison).

[2] Gestion dans le temps / système de commande

— Lorsque personne ne se déplace plus ou presque, il n'y a plus de raison d'éclairer des façades ou des objets. Il est donc recommandé de fixer également les heures concrètes d'exploitation et d'extinction de l'installation dans le permis de construire de cette dernière ou dans les stratégies d'éclairage.

— Il faudrait également étudier si l'éclairage – plutôt que d'être allumé tous les soirs – peut être limité à certains jours de la semaine, à certaines saisons ou à d'autres périodes définies. En éteignant parfois l'éclairage, on réduit les émissions lumineuses et la consommation d'énergie, mais cela permet aussi de mettre l'objet davantage en valeur quand on l'illumine effectivement.

[3] Intensité / clarté

— Dans un environnement sombre ou lorsque les façades sont claires, une quantité de lumière réduite suffit pour mettre en scène un bâtiment ou un objet. Il convient donc de prendre en compte les alentours lorsqu'on détermine l'intensité requise. Le cas échéant, il peut être indiqué de réduire des éclairages existants pour mieux mettre en valeur l'objet visé.

— Lorsque, dans les alentours, des acteurs privés illuminent leurs façades, on peut essayer de les intégrer à une stratégie générale d'éclairage par l'intermédiaire de projets de partenariat public-privé (voir annexe A4.2).

[4] Spectre lumineux / couleur de la lumière

— Afin de créer une atmosphère agréable pour les personnes et de réduire les conséquences négatives pour la nature, il est recommandé d'utiliser de la lumière d'un blanc le plus chaud possible et à faible composante bleue pour les éclairages à fonction purement esthétique.

[5] Choix et positionnement des lampes

— S'il s'agit d'éclairer une façade ou un objet dans son ensemble, le procédé de projection de lumière correspond aux meilleures techniques actuelles pour éviter les émissions lumineuses superflues (voir 3.6.2).

— L'emplacement, la hauteur et l'orientation des projecteurs doivent être choisis avec soin, de manière à ce que les faisceaux de lumière soient orientés le plus horizontalement possible.

[6] Orientation

— Ne pas éclairer les bâtiments ou les objets de bas en haut. Même lorsqu'on recourt au procédé de projection de lumière, on veillera à ce que le rayonnement ne soit pas clairement orienté vers le haut.

[7] Écrans protecteurs

— Les filtres utilisés dans les projecteurs (masques « gobo ») permettent aussi de préserver les parties de l'objet éclairé qui doivent rester sombres.

Exemple pratique : éclairage de l'église du Saint-Esprit de Berne à l'aide du procédé de projection de lumière

En Suisse, on compte déjà plus d'une centaine d'objets les plus divers éclairés à l'aide du procédé de projection de lumière, qu'il s'agisse d'églises, de châteaux, de remparts et de tours, de bâtiments historiques ou modernes, ou de monuments. L'exemple présenté ici – l'église du Saint-Esprit à Berne – aborde aussi la question de la procédure de planification par les autorités et le maître d'ouvrage.

Selon une décision prise par le Conseil municipal de la ville de Berne en 1986, l'église du Saint-Esprit située à proximité de la gare fait partie des objets qui sont éclairés du Samedi saint au dernier dimanche d'octobre et du premier dimanche de l'Avent au premier jour ouvrable de janvier, et cela tous

les soirs concernés jusqu'à 00h05. La décision d'éclairer ([1] Nécessité) et la gestion dans le temps ([2]) sont ainsi fixées dans une stratégie générale.

Dans le sillage du réaménagement de la place de la gare en 2007 et 2008, on a démonté l'installation d'éclairage composée de 34 projecteurs. En 2014, la société qui exploite l'éclairage public à Berne a déposé une demande de permis de construire avec un nouveau plan d'éclairage.

Pour élaborer ce dernier, le maître d'ouvrage avait relevé au préalable le paysage nocturne de l'ensemble de la place de la gare et mesuré les luminances sur les façades tout autour de celle-ci. Sur cette base, il a planifié un nouvel éclairage utilisant le procédé de projection ([3] Intensité / clarté).

Treize projecteurs aux halogénures métalliques montés sur les bâtiments environnants, sur l'édifice lui-même et sur des poteaux de l'éclairage public ([5] Choix et positionnement des lampes) illuminent l'église d'une lumière blanc chaud ([4] Spectre lumineux / couleur de la lumière).

Des masques faits sur mesure sont utilisés pour réduire autant que possible la lumière diffuse indésirable, produire des clartés différentes sur les diverses parties de la façade et souligner des détails ([6] Orientation). En fonction des secteurs de façade, les luminances obtenues sont comprises entre 0 et 4 candelas par mètre carré (cd/m2). Dans l'ensemble, ce nouvel éclairage met mieux l'aspect de la façade en valeur, réduit les émissions lumineuses non souhaitées et consomme environ 80 % de courant en moins qu'auparavant.

À côté de la stratégie d'éclairage, le déroulement du projet s'est aussi avéré exemplaire. L'autorité chargée d'octroyer le permis de construire a notamment soumis la requête au service de la protection de l'environnement, afin qu'il évalue les émissions lumineuses. La section Nature et écologie du service municipal en charge des espaces verts a en outre examiné la stratégie d'éclairage du point de vue des éventuels dérangements pour la faune (chauves-souris, oiseaux) : elle n'y a décelé aucun élément problématique. Le nouvel éclairage est en service depuis mars 2016 (voir Figure 11).

Figure 11: Treize projecteurs montés en sept points sur des toits voisins ou sur les poteaux de l'éclairage public (photo de gauche) éclairent l'église du Saint-Esprit devant la gare de Berne (photo de droite ; source : ewb). Dans les projecteurs, des chablons créés sur mesure guident précisément la lumière. Cela permet de produire des différences de clarté et de mettre en évidence des détails tels que la balustrade du toit décorée de vases et d'urnes sur le côté de l'église.

3.6.4 Recommandations pour la limitation des émissions lumineuses émanant directement de grands bâtiments publics

Les grands bâtiments publics peuvent produire directement des émissions lumineuses, provenant notamment :

— de l'éclairage intérieur lorsque les fenêtres sont nombreuses ou de grande dimension ;

— de grands éléments de façade autolumineux. Grâce aux nouvelles technologies telles que les LED organiques (OLED), par exemple, on peut aussi faire luire de grandes surfaces. Cette méthode est parfois utilisée pour transformer des façades en œuvres d'art.

La numérotation des recommandations ci-après renvoie au plan en sept points visant à limiter les émissions lumineuses, tel qu'illustré par la Figure 2 du chapitre 2.

[1] Nécessité

Pour les bâtiments appartenant à la collectivité publique, il convient de renoncer autant que possible aux façades autolumineuses, afin de montrer l'exemple.

[2] Gestion dans le temps / système de commande

Les émissions émanant de l'éclairage intérieur de grands édifices (bâtiments administratifs, par exemple) peuvent être réduites en n'éclairant que les locaux dans lesquels on travaille effectivement. Cela peut se faire à l'aide d'un système de commande intelligent de la lumière, qui détecte les personnes présentes. Cette solution permet aussi d'économiser de l'énergie.

[7] Écrans protecteurs

Dans les grands bâtiments ou dans les édifices comptant d'importantes surfaces de fenêtre, des stores, des volets ou des rideaux opaques permettent de réduire les émissions produites par l'éclairage intérieur. Dans les édifices de taille importante, les stores sont souvent descendus automatiquement en hiver pour des motifs d'économie d'énergie (réduction de la chaleur émise ; voir également l'exemple pratique de la section 3.8.4).

3.7 Éclairages publicitaires

3.7.1 Généralités

Par éclairages publicitaires, on entend par exemple les équipements suivants :

— inscriptions lumineuses ou rétroéclairées, et enseignes lumineuses ou éclairées promouvant leur propre commerce ;

— éclairages de vitrines ;

— formes les plus diverses de caissons ou panneaux lumineux faisant de la publicité pour des tiers ;

— écrans standard ou écrans de grande dimension (pouvant présenter des images animées) ;

— éclairages liés à des événements et utilisant des projecteurs pointés vers le ciel (« skybeamers »).

Ces derniers temps, l'évolution technologique (qui a mené notamment aux LED) permet des clartés de plus en plus fortes, ainsi que des images animées. Dans le domaine des éclairages publicitaires, des conflits d'objectifs peuvent ainsi survenir entre la liberté économique, d'une part, et les efforts de maîtrise de la consommation d'énergie ou le maintien de la qualité urbaine et environnementale, d'autre part (voir A2.2).

Afin de bien intégrer la publicité dans le paysage urbain, rural ou routier, de nombreuses villes ou communes fixent des exigences dans leur règlement de police ou leur règlement sur la publicité. Les aspects suivants peuvent par exemple être réglementés :

— quelles publicités sont soumises ou non à autorisation ;

— quels types de publicité sont interdits (exemple pour la ville de Coire : les « skybeamers », les écritures lumineuses défilantes, les publicités lumineuses dont l'éclairage change ainsi que celles qui provoquent des émissions lumineuses excessives [Conseil communal de Coire 2007]) ;

— quelles publicités sont autorisées dans quelles zones (par exemple en fonction du plan d'affectation) ;

— à quelle heure les éclairages publicitaires doivent être éteints (dans la commune de Köniz, par exemple, les publicités lumineuses doivent être éteintes entre 23 heures et 6 heures, ainsi que le week-end et les jours fériés ; des dérogations restent possibles, tout comme une limitation plus sévère des heures d'exploitation [Commune de Köniz 2012]).

Exemple pratique : interdiction des « skybeamers »

Par « skybeamers », on entend des projecteurs de forte puissance qui émettent de la lumière dans le ciel nocturne afin de faire de la publicité pour des discothèques ou des fêtes, notamment. Ces installations ne diffusent pas de message publicitaire : le rayon de lumière a pour seul but d'attirer l'attention. S'ils éclairent inutilement le ciel et portent atteinte au paysage nocturne, le fait que les « skybeamers » provoquent des stimuli lumineux soudains peut également induire des réactions de peur chez les oiseaux : ceux-ci dévient alors de leur direction initiale, réduisent leur vitesse de vol et essayent d'éviter la lumière en changeant d'altitude. Ce n'est qu'à partir d'une distance d'environ un kilomètre que l'influence du rayon lumineux ne peut plus être mesurée (OFEV 2012).

De nombreuses communes interdisent l'usage de ce type de projecteur dans leur règlement sur la publicité (par exemple Berthoud, Coire ou Köniz) ou dans leur règlement de police (Reinach, Ormalingen, notamment). Des interdictions de ce type peuvent aussi exister au plan cantonal, par exemple dans une loi d'application de la loi sur la protection de l'environnement (canton d'Argovie et de Zoug, par exemple) ou dans une loi sur l'énergie (canton de Berne).

Exemple pratique : règlement sur la lumière artificielle de la ville de Lucerne

Dans le contexte de l'élaboration de son Plan Lumière, la ville de Lucerne a édicté un règlement sur la lumière artificielle qui restreint aussi l'intensité des éclairages de vitrines, des éclairages publicitaires et des publicités de toiture (Ville de Lucerne 2008). Selon ce document, la luminance moyenne des

éclairages publicitaires et des publicités de toiture ne doit pas dépasser 110 candelas par mètre carré (cd/m^2). Les éclairages dynamiques (comme les écritures défilantes) sont par ailleurs interdits.

Pour les vitrines, il est prescrit que leur éclairage ne doit pas engendrer sur le trottoir devant elles un éclairement horizontal moyen de plus de 50 à 70 lux. Le but de cette disposition est de veiller à ce que l'éclairement à l'intérieur de la vitrine et celui de l'espace de rue voisin restent dans des proportions appropriées. À côté de ces exigences quantitatives, la ville a aussi émis des recommandations qualitatives pour limiter les émissions des éclairages de vitrines (Ville de Lucerne 2010b) :

— Le nombre de lampes, l'éclairement et les heures d'exploitation doivent se limiter à ce qui est nécessaire d'un point de vue fonctionnel et décoratif. Des études et des analyses provenant du commerce de détail ont montré que les vitrines trop éclairées, les lumières éblouissantes et les éclairages irréguliers avaient un effet négatif sur la consommation.

— Les éclairages de vitrines doivent être dirigés vers l'intérieur. Il n'est pas permis d'orienter un système d'éclairage directement vers l'extérieur, ni de projeter du texte ou des images vers l'extérieur à partir de la vitrine.

— On peut éviter d'éblouir les passants et d'éclairer excessivement la rue en utilisant des lampes protégées correctement et peu éblouissantes. Les sources lumineuses allumées sans protection ne sont pas admises (voir Figure 12).

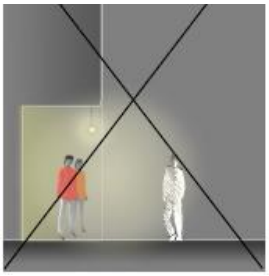
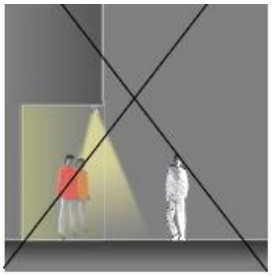
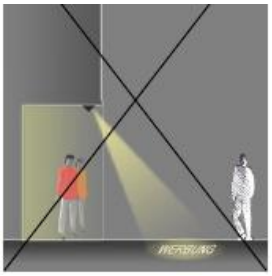
			
Un agencement optimal des lampes permet d'accroître le confort visuel tout en réduisant les ombres désagréables et les reflets indésirables.	Non autorisé : source de lumière allumée sans protection	Non autorisé : système d'éclairage dirigé directement vers l'extérieur	Non autorisé : projection de texte ou d'image vers l'extérieur (par exemple logotype publicitaire)

Figure 12 : Exigences et recommandations pour l'éclairage des vitrines à Lucerne (source : Ville de Lucerne 2010b).

3.7.2 Recommandations pour la limitation des émissions des publicités lumineuses

Les recommandations ci-après ont pour but de limiter les émissions produites par les publicités lumineuses. Font notamment partie de ces dernières :

— les inscriptions lumineuses ou rétroéclairées, les enseignes lumineuses ou éclairées ;

— les caissons ou panneaux lumineux publicitaires ;

— les écrans standard ou écrans de grande dimension ; les grands écrans qui se trouvent dans les vitrines en font également partie[7].

[7] Dans son arrêt 1C_12/2007 du 8 janvier 2008, le Tribunal fédéral confirme que les écrans plats de grand format installés dans les vitrines sont assimilables à des éclairages extérieurs et non intérieurs. Il écrit à ce sujet :
En principe, l'éclairage d'une vitrine correspond à un éclairage intérieur. Même lorsqu'on y expose de petits écrans ou d'autres objets lumineux tels que des lampes, cela ne cause en règle générale qu'une hausse ponctuelle des émissions lumineuses. En revanche, l'installation de grandes publicités lumineuses dans une vitrine provoque une intensification significative des immissions lumineuses dans les alentours. Ce type d'appareils et les messages publicitaires qu'ils transmettent doivent atteindre directement un public qui se tient ou passe à une distance considérable du bâtiment. La lumière émise dans ce contexte doit donc forcément être perceptible dans un rayon plus étendu. Il en résulte que l'ouverture que la vitrine constitue dans la façade est utilisée, dans un tel cas, pour équiper le bâtiment d'un éclairage extérieur. Avec des écrans de grand format, on n'émet pas seulement de la lumière sur une grande surface à partir d'une ouverture dans la façade, on peut également faire

En revanche, les recommandations et valeurs indicatives ne s'appliquent pas aux éléments suivants :

— panneaux de circulation, signalétique routière ou publicités dans le domaine routier (réclames routières) qui sont éclairés ou lumineux ; ces éléments doivent respecter des dispositions spéciales liées à la sécurité du trafic (voir commentaire ci-après) ;

— éclairages de vitrines ;

— éclairages d'événements à l'aide de « skybeamers ».

La numérotation des recommandations ci-après renvoie au plan en sept points dans la Figure 2 du chapitre 2 pour la limitation des émissions.

[1] Nécessité

Lorsqu'il s'agit de définir quelles publicités lumineuses sont admises et dans quels endroits, et lesquelles sont interdites ou nécessitent une autorisation, on peut le faire de manière juridiquement contraignante par l'intermédiaire des règlements de construction et d'affectation, du règlement de police ou du règlement sur la publicité.

[2] Gestion dans le temps / système de commande

Il est recommandé de fixer également les heures d'exploitation et les heures d'extinction dans les règlements et autorisations concernés. Lorsque les personnes en déplacement sont rares ou inexistantes, la publicité n'a plus aucune utilité. Dans les villes de plus grande taille, c'est le cas de manière certaine à partir de minuit. Dans d'autres localités, l'extinction peut déjà se justifier à 23 heures, voire même à 22 ou 20 heures en zone résidentielle.

[3] Intensité / clarté

— En principe, une publicité lumineuse ne doit luire que dans la mesure dictée par sa fonction. Dans un environnement sombre, une lumière moins intense suffit à transmettre le message souhaité.

— Adaptation à la clarté des alentours : les publicités lumineuses modernes peuvent être équipées de capteurs et de variateurs. Leur intensité peut dès lors être adaptée automatiquement ou manuellement à la clarté des alentours. Il est ainsi toujours possible de lire la publicité de manière optimale, tout en économisant de l'énergie et en évitant les éblouissements dans le voisinage.

— Les valeurs indicatives du Tableau 4 peuvent servir de références pour l'évaluation et la limitation des émissions des publicités lumineuses. Elles sont dérivées de recommandations déjà appliquées dans certaines villes et communes[8].

[6] Orientation

— Les enseignes et affiches illuminées doivent être éclairées de haut en bas.

varier rapidement ces signaux lumineux. L'éclairage extérieur du bâtiment tel qu'obtenu avec les écrans apparaît agité et instable. Dans un tel cas, le principe de limitation préventive des émissions (art. 11, al. 2, LPE) peut être enfreint et des immissions nuisibles ou incommodantes peuvent même en résulter.

[8] Dans certaines villes suisses ainsi qu'à l'étranger, il existe déjà des valeurs indicatives utilisées par les autorités pour évaluer les publicités lumineuses (voir EBP 2016). Les valeurs proposées ici pour les zones environnantes 3 et 4 ont été reprises de la ville de Zurich. La ville de Berlin recommande elle aussi des valeurs indicatives plus ou moins sévères en fonction de la zone environnante. Elle limite par ailleurs la luminance maximale autorisée à 500 cd/m^2 (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin 2014). Quant aux valeurs indicatives pour les zones environnantes 1 et 2, elles se fondent sur les exigences de la norme ÖNORM O 1052 et de la commune de Balzers (Liechtenstein). Cette dernière limite la luminance maximale des installations publicitaires éclairées à 40 cd/m^2 (Commune de Balzers 2013).

Tableau 4 : Valeurs indicatives pour l'évaluation des émissions des publicités lumineuses

Zone environnante	**Luminance maximale en candelas par mètre carré (cd/m²)**
Zone environnante 1 Zones rurales faiblement peuplées, habitations isolées	10 cd/m²
Zone environnante 2 Zones rurales modérément peuplées, zones purement résidentielles, périphéries de localités	100 cd/m²
Zone environnante 3 Agglomérations, zones densément bâties, zones résidentielles et industrielles (zones mixtes)	300 cd/m²
Zone environnante 4 Centres urbains et commerciaux	500 cd/m²

Remarques concernant la mesure et l'évaluation

- Les valeurs indicatives figurant au Tableau 4 se réfèrent au point le plus clair de la publicité lumineuse ; il n'est pas prévu de calculer une moyenne pour toute la surface de celle-ci.
- Les lumières de couleur et celles qui bougent peuvent présenter un potentiel incommodant particulièrement important pour l'homme (annexe A3.1.4). Le Tableau 7 de la section 4.3 propose des facteurs de multiplication qui peuvent être utilisés pour évaluer l'illumination des locaux par de la lumière colorée (facteur 2) ou changeante (en fonction de la durée des périodes ou de la fréquence, ce facteur est compris entre 1,5 et 5). La ville de Berlin applique aussi ces facteurs de multiplication lors de l'appréciation des éclairages publicitaires (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin 2014). Par analogie, il est proposé de multiplier la luminance maximale déterminée pour les publicités lumineuses utilisant de la lumière colorée intense ou de la lumière ou des images changeantes par les facteurs proposés au Tableau 7. Le nombre ainsi obtenu constitue la valeur d'évaluation et doit respecter les valeurs indicatives du Tableau 4.
- La luminance des publicités lumineuses peut être mesurée à l'aide d'un appareil approprié (luminancemètre).
- L'appareil répondra au moins aux exigences de la classe B de la norme DIN 5023, partie 7, avec une erreur totale inférieure à 15 %.
- La mesure doit se faire par temps sec et dans des conditions d'obscurité nocturne. On renoncera aux mesures en cas de pluie, de neige ou de brume, parce que les résultats obtenus dépendent alors fortement des conditions météorologiques et ne peuvent pas être reproduits.
- La température extérieure peut influencer le degré d'efficacité des lampes des publicités lumineuses. Pour les LED à capacité de refroidissement plutôt réduite, la luminance peut être plus forte en hiver qu'en été. Dans le cas des lampes fluorescentes, la situation est inversée, puisqu'elles ne peuvent pas émettre à pleine puissance lorsque les températures sont basses.
- La mesure se fait directement devant la publicité lumineuse concernée, et autant que possible à la hauteur de celle-ci.
- On veillera, lors de la mesure, à mettre au point et orienter exactement l'appareil.

Commentaire : pas de publicités pouvant compromettre la sécurité routière

Dans le domaine des routes, la **loi fédérale sur la circulation routière** (LCR ; RS 741.01) interdit les réclames et autres annonces qui pourraient compromettre la sécurité de la circulation en créant une confusion avec les signaux et les marques ou en détournant l'attention des usagers de la route (art. 6, al. 1, LCR). L'**ordonnance sur la signalisation routière** (OSR ; RS 741.21), qui se fonde sur la LCR,

réglemente quant à elle les exigences applicables aux réclames routières, dans ses art. 95 à 100. Les art. 96 à 98 définissent dans quels cas ces publicités sont autorisées et dans lesquels elles ne le sont pas. L'art. 100 précise que les prescriptions complémentaires sur les réclames routières sont réservées, notamment les dispositions relatives à la protection des sites et du paysage.

Les exigences du droit fédéral sont souvent concrétisées dans des actes cantonaux ou communaux (lois sur les routes ou règlements sur la publicité, notamment). Dans ses « Directives sur les installations publicitaires », par exemple, le canton de Lucerne interdit, pour des raisons de sécurité routière, les publicités utilisant des effets de lumière clignotante, mouvante ou changeante, ainsi que tout type d'écran (en particulier LED) à proximité des routes. Les exigences ci-dessous sont en outre définies (rawi Luzern 2016) :

— L'intensité des publicités autolumineuses doit être adaptée à la clarté des alentours.

— La luminance maximale de l'installation peut être déterminée en fonction de la situation, mais ne doit pas dépasser une valeur de 500 cd/m^2.

— Dans les lieux où l'obscurité nocturne naturelle est encore préservée, les publicités autolumineuses doivent être entièrement éteintes entre 22 heures et 6 heures.

3.8 Bâtiments et installations privés, illuminations de Noël

3.8.1 Généralités

Les émissions lumineuses des bâtiments ou installations privés proviennent pour une part d'**éclairages extérieurs fonctionnels** (illuminant par exemple les chemins d'accès ou les parvis d'immeubles) ou d'éclairages mis en place pour des raisons de sécurité (par exemple pour éviter les cambriolages, voir section 3.8.5).

D'autre part, elles proviennent également des **éclairages décoratifs** des jardins (éclairages de façades ou d'objets, luminaires décoratifs autonomes, etc.) ou des **illuminations de Noël** installées sur les maisons ou dans les jardins. Avec l'évolution ayant mené aux LED, ces dernières années, l'offre et la demande de tels éclairages décoratifs et illuminations de Noël ont fortement augmenté. À côté d'équipements d'éclairage aux formes et couleurs les plus diverses, on trouve désormais également sur le marché des appareils LED ou laser permettant de projeter des images et effets de lumière mouvants sur des arbres ou sur les murs d'une maison.

Enfin, dans les grands bâtiments (comme les immeubles de grande hauteur) ou dans ceux qui présentent une surface importante de fenêtres ou une cage d'escalier vitrée, l'**éclairage intérieur** peut aussi constituer une source considérable d'émissions si les fenêtres ne sont pas équipées de stores ou de volets.

Ces émissions lumineuses issues de bâtiments et installations privés entrent dans le champ d'application de la loi sur la protection de l'environnement (LPE). Elles doivent donc respecter le principe de limitation préventive des émissions (premier niveau de la LPE) et ne pas induire d'effets nuisibles ou incommodants dans le voisinage (second niveau de la LPE, voir A1.2.1). En outre, parallèlement au droit public, le droit civil exige aussi de chaque propriétaire qu'il s'abstienne, dans l'exercice de son droit, « de tout excès au détriment de la propriété du voisin » (art. 684 du Code civil suisse [CC], voir A1.2.5).

À l'inverse, l'intérêt qu'il peut y avoir à décorer les aménagements extérieurs d'une propriété privée à l'aide d'un éclairage (éclairage décoratif) relève du domaine de la garantie de la propriété et le cas échéant aussi d'autres droits fondamentaux tels que la liberté personnelle ou artistique. Or on ne peut restreindre les droits fondamentaux que lorsqu'une base légale l'autorise, que cette restriction relève de l'intérêt public ou de la protection des droits fondamentaux de tiers, et qu'elle est proportionnée.

Dans un arrêt principal concernant une illumination de Noël et un éclairage décoratif permanent, le Tribunal fédéral s'est exprimé de manière approfondie sur la tension qui existe entre l'intérêt public d'éviter les émissions lumineuses et l'intérêt privé lié à l'exploitation d'éclairages.

Figure 13 : Les décorations de Noël sont considérées par de nombreuses personnes comme une coutume festive. Avec l'évolution technologique, la diffusion et la diversité de ces éclairages ont fortement augmenté au cours des dernières années. Utilisées de manière excessive, les illuminations de Noël peuvent contribuer au phénomène insidieux de la pollution lumineuse ou incommoder le voisinage.

3.8.2 Arrêts du Tribunal fédéral concernant les éclairages décoratifs et illuminations de Noël

3.8.2.1 Arrêt principal concernant une illumination de Noël et un éclairage décoratif permanent (ATF 140 II 33)

Dans un quartier résidentiel de Möhlin (AG), des voisins se sentaient incommodés par la clarté qu'engendrait une illumination de Noël installée sur une propriété privée. L'éclairage de Noël, qui dépassait nettement la mesure usuelle dans cette localité, restait par ailleurs toute l'année dans le jardin sous une forme réduite, en guise de décoration.

En ce qui concerne l'illumination de Noël faisant l'objet du différend, le Tribunal fédéral est arrivé à la conclusion qu'elle ne provoquait pas d'immissions nuisibles ou incommodantes au sens de la LPE (second niveau), qui auraient justifié des mesures de limitation plus sévères, mais que les émissions devaient être limitées à titre préventif (premier niveau), sans toutefois que des mesures disproportionnées puissent être exigées. Lors de l'examen de la proportionnalité, le Tribunal fédéral a procédé à une pondération de l'intérêt public d'éviter les émissions lumineuses et de l'intérêt privé du propriétaire de l'éclairage décoratif, puisque le fait de parer des aménagements extérieurs d'un éclairage relève du domaine de la garantie de la propriété.

En raison du processus sournois menant à un accroissement progressif des immissions lumineuses dans l'environnement, et vu qu'on ne dispose pas pour l'instant de connaissances permettant de quantifier les effets négatifs de la lumière artificielle sur les plantes et les animaux, le Tribunal fédéral a accordé davantage de poids, dans le cas qui lui était soumis, à l'intérêt public qu'à l'intérêt privé du propriétaire de l'éclairage. Il a estimé que la restriction apportée à la garantie de la propriété était minime : le propriétaire est certes contraint d'éteindre son éclairage à certaines heures, mais aucune condition ne lui est imposée en ce qui concerne la dimension, l'intensité, le type et le positionnement de son éclairage décoratif.

Dans le cas de Möhlin (AG), le Tribunal fédéral a exigé que l'éclairage décoratif installé toute l'année soit éteint de 22 heures à 6 heures. Quant à l'illumination de Noël, que de nombreuses personnes ne trouvent pas gênante mais apprécient parce qu'ils y voient une coutume festive, elle peut rester allumée plus longtemps durant la période usuelle locale de l'Avent et de Noël (du premier dimanche de l'Avent au 6 janvier), soit jusqu'à 1 heure du matin.

3.8.2.2 Enseignements tirés de deux arrêts du Tribunal fédéral pour le traitement des illuminations de Noël et éclairages décoratifs privés par les autorités compétentes

Parallèlement aux conclusions et décisions portant sur le cas concret évalué, les considérants de l'arrêt principal ATF 140 II 33 du Tribunal fédéral fournissent aussi des enseignements sur la manière dont les autorités compétentes doivent traiter les émissions lumineuses provenant d'illumination de Noël ou d'éclairages décoratifs privés. Le Tribunal fédéral y fait par ailleurs référence à un jugement qu'il a déjà rendu en 2007 concernant une illumination de Noël installée sur une maison privée de la commune zurichoise d'Uitikon (1A.202/2006 du 10 septembre 2007). Les conclusions peuvent être résumées comme suit :

— Décorer des aménagements extérieurs privés à l'aide d'un éclairage (éclairage décoratif) relève du domaine de la garantie de la propriété. En règle générale, la clarté générée n'est pas suffisante pour qu'il faille craindre qu'elle enfreigne les prescriptions sur les immissions.

— Dans certaines conditions, en revanche, un éclairage décoratif de taille exceptionnelle et d'une grande clarté peut enfreindre le principe de limitation préventive des émissions inscrit dans la LPE, voir engendrer des immissions nuisibles ou incommodantes au sens de cette même loi.

— Malgré cela, il n'est pas nécessaire que l'autorité procède à un contrôle préventif *préalable* si l'on se fonde sur les exigences du droit fédéral de l'aménagement du territoire – ni pour les illuminations de Noël et éclairages décoratifs privés dont les proportions restent usuelles, ni pour ceux dont la taille ou la clarté sont particulièrement importantes. En effet, selon la jurisprudence du Tribunal fédéral, ces éclairages ne constituent pas des constructions ou des installations soumises à autorisation au sens de l'art. 22, al. 1, de la loi sur l'aménagement du territoire (LAT).

- Pour chaque réclamation concrète, il convient toutefois de procéder à un examen du point de vue de la police des constructions.
- Les autorités compétentes (cantonales ou communales) peuvent aussi procéder à des contrôles d'office et ordonner des restrictions si nécessaire.
- Lorsqu'on ordonne une limitation préventive des émissions au sens de l'art. 11, al. 2, LPE, il convient de veiller aussi à la proportionnalité de la mesure.
- Dans le cas de Möhlin (AG), le Tribunal fédéral a ordonné des mesures correspondantes pour une illumination de Noël et un éclairage décoratif permanent dont l'importance dépassait clairement ce qui était usuel dans cette localité. Il a accordé davantage de poids à l'intérêt public d'éviter les émissions lumineuses qu'à l'intérêt privé du propriétaire de l'éclairage.
- Pour les éclairages dont l'importance n'excède pas ce qui est usuel dans la localité, le principe de proportionnalité n'admet guère que soient prescrites des mesures préventives se fondant sur l'art. 11, al. 2, LPE.
- Du principe de prévention inscrit dans la LPE découle l'obligation d'éviter les immissions lumineuses superflues dans la mesure que permettent l'état de la technique et les conditions d'exploitation et pour autant que cela soit économiquement supportable.
- Par conséquent, pour les éclairages qui n'ont pas d'incidence sur la sécurité, il convient de s'efforcer de préserver une période de tranquillité ou « période d'obscurité » entre 22 heures et 6 heures, de manière similaire à ce qui se fait dans le domaine de la protection contre le bruit.

3.8.3 Recommandations aux autorités pour le traitement des éclairages de bâtiments et installations privés

- Le droit de la construction varie d'un canton ou d'une commune à l'autre. La question de savoir quels types d'installations d'éclairage sont soumis à autorisation ou non n'est donc par réglée de la même manière partout. Si un éclairage extérieur privé nécessite un permis de construire en vertu du droit cantonal ou communal, il faut aussi examiner, dans le cadre de la procédure d'autorisation, si l'installation peut respecter les exigences du droit de l'environnement (voir 2.4).
- En cas de réclamation concrète (même si celle-ci concerne une installation non soumise à autorisation), l'autorité compétente doit déterminer si la situation dénoncée relève du droit de l'environnement, de telle sorte qu'il faut envisager des mesures de droit administratif, consistant par exemple à ordonner une limitation préventive des émissions. La section 2.6 explique comment procéder dans ce contexte.
- Si un éclairage extérieur privé excède ce qui est usuel dans la localité et s'avère susceptible de provoquer des immissions nuisibles ou incommodantes, l'autorité compétente peut ordonner des mesures de réduction en se fondant sur la LPE.
- Si un éclairage n'excède pas ce qui est usuel dans la localité, il n'est guère possible d'ordonner des mesures, pour des questions de proportionnalité. Dans un tel cas, l'autorité ne peut exercer qu'une influence restreinte : le cas échéant, elle peut essayer – grâce à l'information et à la sensibilisation – d'inciter le propriétaire de l'éclairage à réduire volontairement les émissions.
- Si la commune dispose d'un plan d'éclairage contraignant au plan juridique (Plan Lumière, plan général, etc.) ou d'un autre instrument juridique approprié (règlement de construction et d'affectation, notamment), il est aussi possible d'y définir certains principes applicables à l'éclairage dans le domaine privé (par ex. extinction des éclairages décoratifs après 22 heures).

3.8.4 Mesures de limitation des émissions des éclairages de bâtiments et installations privés

La numérotation des mesures ci-après renvoie au plan en sept points présenté dans la Figure 2 du chapitre 2 pour la limitation des émissions.

[1] Nécessité

— À côté des éclairages extérieurs qui remplissent une fonction (en illuminant par exemple les chemins d'accès ou les parvis d'immeubles), il y en a d'autres utilisés essentiellement à des fins décoratives. Ceux-là relèvent en principe du domaine de la garantie de la propriété et ne peuvent donc pas être interdits, mais on devrait les employer avec modération, tant pour ce qui est de leur type, de leur nombre et de leur intensité que pour ce qui concerne leur durée de fonctionnement.

[2] Gestion dans le temps / système de commande

— Il convient en principe d'éteindre les éclairage décoratifs entre 22 heures et 6 heures. Cela peut se faire automatiquement avec une minuterie.
Lorsqu'on séjourne effectivement à l'extérieur, il est permis d'allumer un éclairage approprié ou même des éclairages décoratifs au-delà de 22 heures.

— Détecteurs de mouvement à l'extérieur :
En réglant correctement des détecteurs de mouvement, les éclairages extérieurs (fonctionnels) peuvent être mis en service lorsqu'on en a besoin – et uniquement à ces moments-là.

— Détecteurs de mouvement à l'intérieur :
On peut réduire les émissions provenant de l'éclairage intérieur de grands bâtiments – par exemple d'immeubles administratifs – en n'éclairant que les locaux dans lesquels on travaille effectivement. Cela peut se faire à l'aide d'un système de commande intelligent de la lumière, qui détecte les personnes présentes. Cela permet aussi d'économiser de l'énergie.

[3] Intensité / clarté

— En matière d'intensité des éclairages privés extérieurs, il convient également de faire preuve de modération et de tenir compte de la clarté des alentours : plus un environnement est sombre, moins il faut de lumière pour voir suffisamment.

[4] Spectre lumineux / couleur de la lumière

— Le bonheur des uns fait le malheur des autres : les éclairages décoratifs, proposés sous les formes et les couleurs les plus diverses, sont désormais également disponibles avec des lumières mouvantes ou clignotantes. Or on sait que les lumières colorées ou clignotantes engendrent une gêne potentielle particulièrement importante (voir A3.1.4).

[6] Orientation

— Les éclairages extérieurs doivent être dirigés du haut vers le bas.

— L'éclairage des entrées de maisons ou de garages, de même que les éclairages mis en place pour des raisons de sécurité (par ex. éclairage soudain dissuasif), doivent être dirigés vers le bâtiment et non vers ses alentours.

[7] Écrans protecteurs

— Dans le cas des grands bâtiments et de ceux qui présentent une surface importante de fenêtres, les émissions produites par l'éclairage intérieur peuvent être réduites à l'aide de stores, de volets ou de rideaux opaques. Dans les édifices de grande taille, les stores sont souvent descendus automatiquement en hiver pour des motifs d'économie d'énergie (réduction de la chaleur émise).

Exemple pratique : fermeture automatique des stores pendant la migration des oiseaux

Lorsque les oiseaux migrateurs volent vers le nord au printemps ou vers le sud en automne, un de leurs itinéraires principaux en Suisse longe les Alpes à travers le Plateau via Lucerne et la région lémanique. Pendant les migrations, on y compte jusqu'à 1000 oiseaux par heure et par kilomètre. Deux tiers d'entre eux volent de nuit. Or en 2012, à l'Allmend de Lucerne, deux tours de 77 et 88 mètres ont été construites en plein sur cet itinéraire. Elles comptent 283 logements au total. Alors que la journée,

les façades en verre et en métal constituent des pièges pour les oiseaux, ce sont les bâtiments illuminés et leur éclairage intérieur qui font de même la nuit. Par mauvais temps ou en cas de brume, les oiseaux, distraits et désorientés par les lumières, ne perçoivent plus ces immeubles comme des obstacles (voir également A3.3.2.2).

Dans le cadre de la procédure d'octroi du permis de construire, le maître d'ouvrage a donc dû consulter des experts de la Station ornithologique de Sempach et du service municipal de protection de l'environnement, afin de proposer des mesures réduisant le plus possible les collisions des oiseaux avec les deux tours. Le permis mentionnait notamment comme condition que les stores des 283 logements devaient s'abaisser automatiquement durant les périodes de migration (Soukup 2012).

Commentaire : projecteurs LED ou laser pour les illuminations de Noël et les éclairages décoratifs

En automne et à la période de Noël, notamment, on trouve dans le commerce divers appareils permettant de projeter des étoiles ou d'autres effets de lumière sur les parois des maisons. Ces dessins lumineux sont parfois mobiles ou peuvent changer de couleur. La source lumineuse est constituée de diodes électroluminescentes (LED) ou d'un laser.

Ce type de projecteurs correspond à du matériel électrique à basse tension et entre donc dans le champ d'application de l'ordonnance sur les matériels électriques à basse tension (OMBT ; RS 734.26). L'ordonnance définit quelles normes doivent être observées pour la sécurité du produit. L'Inspection fédérale des installations à courant fort (ESTI) vérifie quant à elle le respect des prescriptions en procédant à des contrôles par sondage sur le marché.

Si les projecteurs respectent les normes qui s'appliquent en matière de sécurité du produit, ils peuvent être mis dans le commerce, mais leur exploitation ne doit pas causer d'effets nuisibles ou incommodants dans le voisinage, ni mettre en danger la sécurité du trafic routier. Parce que ces images sont colorées et se déplacent, elles peuvent causer une gêne particulièrement prononcée.

Pour les appareils laser, il faut également tenir compte du fait que seuls les équipements des classes 1 et 2 ne sont pas soumis à l'obligation d'annoncer : ils ne présentent aucun danger pour la peau ou pour les yeux s'ils sont utilisés conformément aux dispositions. Les projecteurs de la classe laser 3R ou supérieurs entrent en revanche dans le champ d'application de l'ordonnance son et laser (OSLa ; RS 814.49) : leur emploi doit être annoncé aux cantons, qui sont compétents pour l'exécution.

En cas de réclamation concrète, un examen du point de vue de la police des constructions doit être effectué (en règle générale par la commune). Il convient de vérifier si des mesures de droit administratif sont requises, qui peuvent consister par exemple à ordonner une limitation préventive des émissions. Le cas échéant, il peut s'agir par exemple de restreindre les heures d'exploitation ou d'ajuster l'orientation des projecteurs, de manière à ce que les images projetées le soient uniquement sur la façade de la maison concernée et non vers le ciel ou vers la parcelle voisine.

3.8.5 Utilisation mesurée de la lumière pour empêcher les cambriolages

La plupart des cambriolages de logements privés sont commis pendant la journée, lorsque les gens ne sont pas chez eux mais au travail, ou qu'ils se livrent à d'autres activités (voir A2.3.3). L'éclairage joue malgré tout un rôle important dans la prévention des délits de ce type. En automne et en hiver, en particulier, les effractions se multiplient au crépuscule. En début de soirée, les voleurs potentiels qui rôdent autour des maisons ne se font guère remarquer, parce que beaucoup d'autres personnes se déplacent encore, contrairement à ce qui est le cas la nuit. Cependant, comme il fait déjà sombre, il est difficile de reconnaître leurs caractéristiques physiques. À l'inverse, il est plus facile pour eux de savoir s'il y a quelqu'un dans un logement : il leur suffit de regarder s'il y a de la lumière. Pour éviter les cambriolages au crépuscule, il n'est toutefois pas nécessaire d'éclairer généreusement les aménagements extérieurs. La lumière devrait au contraire être utilisée comme suit (PSC 2014, EBP 2016)[9] :

[9] Le site de la Prévention suisse de la criminalité (PSC) propose des informations complémentaires sur les mesures permettant de prévenir les cambriolages : www.skppsc.ch.

— ***Éclairage intérieur avec minuterie***
Les maisons et logements qui restent dans l'obscurité au crépuscule et le soir, parfois plusieurs jours de suite, indiquent au cambrioleur qu'ils ne sont momentanément pas habités. Un éclairage intérieur, allumé par exemple de manière automatique mais irrégulière à l'aide d'une minuterie, permet de simuler une présence et constitue ainsi l'une des mesures préventives les plus efficaces.

— ***Détecteurs de mouvement à l'extérieur***
Les détecteurs de mouvement qui allument un éclairage soudain dissuasif ou d'autres lampes extérieures quand quelqu'un pénètre sur la parcelle permettent aussi d'effrayer les cambrioleurs. Cette mesure est encore plus efficace si l'éclairage clignote. Pour limiter les émissions lumineuses superflues, il convient de veiller d'une part à ce que le détecteur de mouvement soit réglé correctement et ne se déclenche pas inutilement, et d'autre part à ce que l'éclairage soit dirigé vers la maison et non vers les alentours. Du point de vue de la sécurité également, un éclairage dont le rayonnement s'éloigne de la maison n'est pas judicieux, parce qu'un délinquant ne pourra pas être reconnu de l'extérieur en raison de l'effet d'éblouissement (voir Figure 14).

— ***Stores, volets et rideaux pour réduire la visibilité***
Avec l'éclairage intérieur, il peut être aisé pour un cambrioleur potentiel de découvrir quelles sont les habitudes d'une personne entre le soir et le petit matin. C'est particulièrement le cas avec les constructions modernes généreusement vitrées. L'emploi de rideaux, de fenêtres et de stores réduit cette visibilité et diminue aussi les émissions de lumière vers l'extérieur.

— ***Pas d'éclairage permanent de la parcelle la nuit***
L'éclairage n'a un effet préventif sur la criminalité que lorsqu'il existe simultanément un contrôle social. Or cette condition n'est pas remplie dans le cas des maisons familiales d'où on ne peut voir les voisins en raison de la distance ou de la végétation. Du point de vue de la sécurité, on peut alors renoncer en grande partie ou entièrement à l'éclairage extérieur. Lorsqu'il est possible de voir la maison depuis chez les voisins, on peut également renoncer à éclairer la parcelle de manière permanente la nuit, parce que le contrôle social n'existe pas durant cette période.

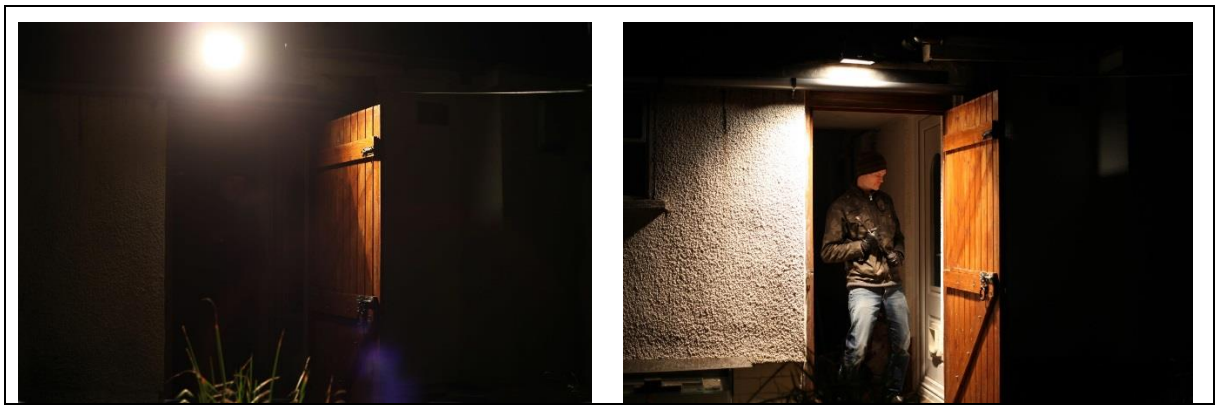


Figure 14 : Un éclairage soudain dissuasif dont le rayonnement s'écarte de la maison n'est pas efficace : son effet éblouissant empêche de repérer un criminel qui tenterait de s'introduire dans le bâtiment (image de gauche). En revanche, si l'éclairage est dirigé vers la façade, le cambrioleur est clairement visible (image de droite). (Image d'illustration ; source : Morgan-Taylor 2015)

3.9 Éclairages en milieu naturel

3.9.1 Généralités

Les éclairages artificiels situés en périphérie de zones bâties ou à l'extérieur de celles-ci ont des conséquences importantes, parce que la clarté ambiante y est généralement faible et que les émissions peuvent affecter particulièrement les habitats de plantes et d'animaux nocturnes sensibles à la lumière. Mais les zones bâties abritent aussi des espèces animales sensibles à la lumière (comme les chauves-souris et les oiseaux migrateurs).

En outre, l'illumination d'objets naturels tels que les sommets montagneux peut modifier le paysage nocturne. Ce type d'éclairage est notamment problématique dans les paysages, sites et monuments naturels d'importance nationale (IFP), dans les sites marécageux d'importance nationale, dans les aires protégées et dans les habitats dignes de protection. Afin de maintenir un objet intact, le but de protection visé par l'inventaire doit être entièrement respecté. Appelé à statuer sur un éclairage de grande ampleur du Pilate à l'aide de projecteurs, le Tribunal fédéral a donc fixé, dans son arrêt principal (ATF 123 II 256), un régime d'éclairage saisonnier, qui tient notamment compte des conditions lumineuses naturelles au crépuscule (voir exemple pratique ci-après).

Les installations d'éclairage fixes prévues à l'extérieur de la zone à bâtir nécessitent une dérogation au sens de l'art. 24 de la loi sur l'aménagement du territoire (LAT ; RS 700). Celle-ci ne peut être octroyée que s'il est prouvé que l'implantation hors de la zone à bâtir est imposée par la destination de l'installation et qu'aucun intérêt prépondérant ne s'y oppose. Dans ce contexte, il est impératif de respecter également les exigences de la loi fédérale sur la protection de la nature et du paysage (LPN ; RS 451) en ce qui concerne la protection du paysage (art. 3 et 6 LPN) et la protection des espèces animales et végétales, ainsi que de leurs habitats (art. 18 et 20 LPN ; voir également les annexes A1.2.2 et A1.2.3).

Les sources de lumière mobiles, comme les éclairages LED utilisés pour des activités de sport et loisirs en forêt, peuvent aussi provoquer des dérangements, surtout pour les animaux qui vivent dans ces secteurs. Les organisateurs et les sportifs devraient être sensibilisés à ces questions et incités à adopter une attitude respectueuse.

3.9.2 Plan en sept points visant à protéger les espèces et habitats sensibles à la lumière contre les émissions lumineuses

Décrit à la section 2.3, le plan en sept points visant à limiter les émissions lumineuses peut être appliqué partout. Il contribue également à réduire les effets sur les espèces sensibles à la lumière et sur leurs habitats. Ses mesures d'ordre général sont complétées ci-dessous d'indications spécifiques concernant ces espèces et ces habitats.

[1] Nécessité

— À chaque fois que cela est possible, on renoncera aux éclairages dans les milieux naturels.

— Si l'on considère malgré tout qu'un éclairage est nécessaire, les conflits d'objectifs touchant les espèces et habitats sensibles doivent être recensés suffisamment tôt en impliquant le service de la nature et du paysage. Il s'agit ensuite de réduire autant que possible les conséquences des émissions lumineuses. Si l'on constate qu'une population d'une espèce protégée diminue à cause de la lumière artificielle, l'éclairage doit être interdit.

[2] Gestion dans le temps / système de commande

— Pour limiter les éclairages dans les milieux naturels, on ne devrait pas se contenter de définir des périodes d'exploitation précises (pas d'éclairages allumés toute la nuit). Il faut aussi envisager d'autres mesures :

  — Ne pas éclairer tous les soirs : il convient de déterminer les jours de la semaine – ou un nombre maximal de jours par semaine – où l'éclairage est utilisé (voir 3.3.3 et l'exemple pratique du Pilate ci-après).

  - Prendre en compte les conditions météorologiques : renoncer par exemple à l'éclairage en cas de brume, de couverture nuageuse à basse altitude ou de pluie.
  - Prendre en compte la clarté ambiante naturelle : prévoir plutôt d'utiliser l'éclairage durant les nuits claires (pleine lune), par exemple, et y renoncer durant les nuits plus sombres (nouvelle lune ; voir 3.3.3).
- Prise en compte des saisons : les effets de l'éclairage artificiel sur les animaux et leurs habitats peuvent varier en fonction de la saison :
  - Le risque de déranger la migration des oiseaux est réel au printemps (mars à mai) et en automne (août à novembre), par temps de brume ou lorsque le ciel est couvert. Par conséquent, les restrictions d'éclairage visant à protéger les oiseaux migrateurs sont particulièrement indiquées durant ces périodes (par exemple : fermeture automatique des stores ou d'autres systèmes la nuit dans les bâtiments élevés, voir l'exemple pratique de la section 3.8.33.8.4 ; pas d'éclairage du sommet des montagnes, voir l'exemple pratique ci-après concernant l'éclairage du Pilate, ainsi que l'annexe A3.3.2.2).
  - Pour les chauves-souris, l'éclairage des trous d'envol de leurs quartiers de jour dans les combles des bâtiments est problématique du printemps à l'automne, tout comme l'illumination des couloirs de vol qui relient ces édifices à leurs terrains de chasse. En revanche, les chauves-souris hibernent généralement dans des cavités rocheuses, si bien que les éclairages ne devraient pas les affecter durant cette période (Fondation pour la conservation des chauves-souris 2015).
- Les longues structures d'éclairage linéaires, en particulier les éclairages routiers, peuvent constituer des barrières infranchissables pour les insectes et interrompre les couloirs de vol des chauves-souris vers leur terrain de chasse. Par le passé, les éclairages des routes restaient souvent en service toute la nuit. Combinées à des systèmes de commande intelligents, les technologies actuelles à lampes LED permettent aussi de gérer les éclairages publics de forte puissance en fonction des besoins, et cela aussi bien dans le temps qu'en matière d'intensité (voir 3.1). Lorsqu'ils sont conçus et mis en œuvre correctement, de tels systèmes peuvent ainsi contribuer à atténuer l'effet de barrière des longues structures d'éclairage.

[3] Intensité / clarté

- Tenir compte de la clarté ambiante : dans un environnement plutôt sombre, une lumière moins intense suffit à atteindre le but d'éclairage visé.
- Les connaissances scientifiques actuelles ne permettent pas d'indiquer des intensités d'éclairage quantitatives (éclairement maximal exprimé en lux, par exemple) pour protéger les espèces sensibles contre la lumière artificielle. On sait cependant que les systèmes visuels des animaux nocturnes (qui se sont adaptés à de faibles niveaux lumineux au cours de leur évolution et se caractérisent donc par une forte sensibilité) peuvent déjà être perturbés par de la lumière artificielle de faible intensité. Le but doit donc être de limiter le plus possible l'intensité de l'éclairage.

[4] Spectre lumineux / couleur de la lumière

- Le choix du spectre lumineux joue un rôle particulier dans la réduction des effets de la lumière artificielle sur les animaux, parce que ceux-ci ne voient pas la lumière et les couleurs comme les humains. Le domaine spectral perceptible varie, tout comme la sensibilité du système visuel aux diverses longueurs d'onde. De nombreux animaux nocturnes, en particulier parmi les insectes, sont attirés par la lumière à onde courte (UV et lumière bleue). Lorsque la composante bleue et ultraviolette est absente ou faible, l'effet d'attraction est réduit.
- Dans certaines situations particulières, les lampes peuvent aussi être munies de filtres afin de restreindre les composantes spectrales indésirables (filtres UV, par exemple).

[5] Choix et positionnement des lampes

— Pour que les habitats des animaux nocturnes restent intacts et reliés entre eux, les éclairages doivent être conçus de manière à préserver des couloirs et des zones sombres autour des infrastructures illuminées (dans des ceintures vertes, par exemple).

— Afin d'éviter autant que possible que de la lumière pénètre dans les habitats sensibles (biotopes d'importance nationale ou régionale, par exemple), des zones tampons peuvent être prévues entre les équipements d'éclairage et les milieux naturels dignes de protection ou les installations nécessaires à la restauration des fonctions écologiques (corridors faunistiques, échelles ou passes à poissons…). Des conditions particulièrement strictes seront formulées, le cas échéant, pour les installations d'éclairage situées dans de telles zones tampons, afin d'atténuer autant que possible les émissions lumineuses vers l'aire à protéger (voir exemple pratique ci-après).

— Les lampes doivent être hermétiques de manière à ce qu'aucun petit organisme vivant – insecte ou araignée, par exemple – ne puisse y pénétrer.

[6] Orientation

— Il convient d'éclairer systématiquement de haut en bas, afin d'éviter les rayonnements superflus émis vers le ciel nocturne.

— Éviter si possible d'éclairer les trous d'envol des quartiers de jour des chauves-souris, parce que ces animaux sortent alors chasser plus tard ou ne le font plus du tout.

— Ne pas éclairer non plus directement et en permanence les sites de nidification des oiseaux et autres refuges d'animaux dans les ouvrages anciens tels que remparts, tours historiques ou églises (voir 3.6.3).

— Dans les eaux vivent de nombreux organismes susceptibles d'être affectés par la lumière (poissons, amphibiens, trichoptères, éphémères, puces d'eau, zooplancton et vers plats, par exemple). Les eaux peu dégradées et leurs rives ne devraient donc pas être éclairées directement.

[7] Écrans protecteurs

— Sur les passages à faune qui enjambent les infrastructures de transport et à proximité de ceux-ci, on peut monter des écrans protecteurs afin que les animaux ne soient pas dérangés par les phares des véhicules routiers ou ferroviaires (Sordello 2011).

Exemple pratique : zone tampon contre les dérangements à côté d'un bas-marais

Le bas-marais de Schachen, près de Dietikon (ZH), est situé à proximité directe d'une zone densément bâtie, et l'autoroute A1 le traverse de part en part. Il illustre les défis auxquels l'aménagement du territoire sera confronté à l'avenir, puisque les surfaces disponibles ne cessent de disparaître en Suisse et que les conflits d'utilisation potentiels tendent ainsi à s'accentuer. Dans ce contexte, afin de tenir dûment compte de la protection des habitats et des espèces, le canton de Zurich a mis en consultation à la mi-2016 un projet d'ordonnance de protection des anciens bras de la Limmat. En se fondant sur une expertise biologique, l'ordonnance définit diverses zones protégées, dont une « zone tampon contre les dérangements dans le bas-marais » (zone IIS1, zone environnante de protection de la nature, voir Figure 15).

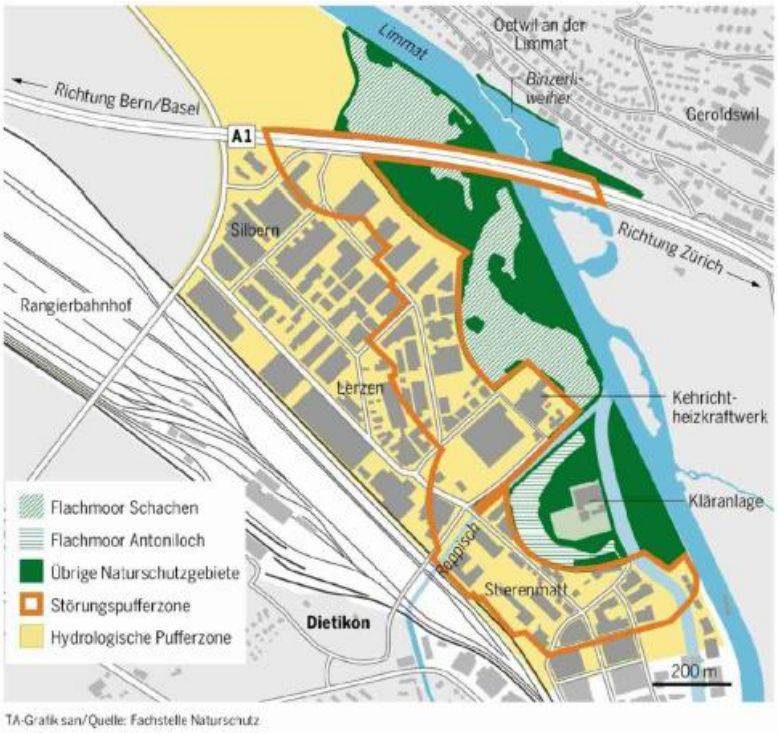


Figure 15: Zone tampon contre les dérangements le long du bas-marais de Schachen dans la commune zurichoise de Dietikon (source : Tages-Anzeiger)

Cette zone tampon doit protéger le bas-marais d'importance nationale contre les atteintes indésirables et conserver l'habitat qu'offre aux espèces menacées la zone de transition située entre l'aire protégée et le secteur utilisé intensivement. Il s'agit là de la première ordonnance de protection de la nature du canton de Zurich à contenir également des dispositions pour la réduction des émissions lumineuses. Pour la zone tampon contre les dérangements, le projet d'ordonnance[10] prévoit les prescriptions suivantes (Baudirektion Kanton Zürich 2016) :

— Sur une distance allant jusqu'à 150 mètres à partir de la limite du marais, les bâtiments ne peuvent avoir, sur leurs façades orientées vers la zone naturelle, que la surface minimale de fenêtre prescrite par la législation. Les terrasses sur les toits doivent être fermées en direction du marais et les balcons ne sont pas admis. Les fenêtres doivent être munies d'un dispositif de fermeture opaque.

— Sur une distance allant jusqu'à 100 mètres à partir de la limite du marais, aucune lampe installée de manière fixe et visible depuis celui-ci ne doit être allumée la nuit entre mars et octobre.

— Les sources de lumière doivent être optimisées au plan quantitatif et qualitatif de manière à réduire autant que possible l'effet d'attraction pour la faune. Les éclairages publics sont admis s'ils sont munis de protections contre l'éblouissement qui correspondent aux technologies les plus récentes.

— Les éléments d'éclairage ne doivent en aucun cas constituer des pièges pour les animaux.

Les prescriptions usuelles de la protection des marais s'appliquent au bas-marais lui-même.

Exemple pratique : arrêt principal du Tribunal fédéral concernant l'illumination du Pilate (ATF 123 II 256)

Depuis 1991, la société qui exploite le train à crémaillère menant au Pilate illumine deux sommets de cette montagne (« Esel » et « Oberhaupt ») sur de grandes surfaces à l'aide de neuf projecteurs. Pa-

[10] Remarque : le projet du 25 avril 2016 a été mis en consultation en mai 2016. L'adoption de l'ordonnance était prévue pour la fin 2016, mais ne s'est pas encore faite jusqu'ici (situation en avril 2017).

trimoine suisse s'est opposé au permis de construire délivré par le canton de Nidwald et a porté l'affaire jusque devant le Tribunal fédéral. En effet, plutôt que de faire apparaître les contours des sommets sous leur forme originale, l'éclairage avait pour effet de les faire luire *comme des apparitions lumineuses un peu fantomatiques et artificielles se détachant de l'obscurité* (ATF 123 II 256, consid. 6d).

Se posait tout d'abord la question de savoir si cet éclairage constituait effectivement une installation soumise à autorisation au sens de la LAT. En effet, les projecteurs ne sont pas ancrés dans le sol, mais fixés à des parois, sur un socle, à l'aide de câbles et de vis. Ils peuvent donc rapidement être démontés. Le Tribunal fédéral a cependant fait valoir que l'éclairage, même s'il pourrait être démonté rapidement, est installé pour une longue durée. L'illumination de grande amplitude peut modifier temporairement l'espace, et en particulier le paysage visuel. Du point de vue du territoire, elle joue un rôle important. Le Tribunal fédéral a donc soutenu les instances cantonales, qui avaient considéré ces sources lumineuses comme des installations soumises à autorisation au sens de l'art. 22, al. 1, LAT.

Comme l'installation est située hors de la zone à bâtir, elle nécessitait en outre une dérogation au sens de l'art. 24, al. 1, LAT. Celle-ci ne peut être octroyée que si l'implantation hors de la zone à bâtir est imposée par la destination de l'installation et qu'aucun intérêt prépondérant ne s'y oppose. Vu que les projecteurs doivent se trouver près du sommet du Pilate – et donc hors de la zone à bâtir – pour des motifs techniques, la première condition était remplie.

Le fait que le Pilate constitue un objet de l'Inventaire fédéral des paysages, sites et monuments naturels d'importance nationale (IFP) a joué un rôle au moment d'évaluer si l'installation d'éclairage lésait des intérêts prépondérants tels que ceux de la protection de la nature et du paysage. Selon la LPN, les objets de l'IFP méritent spécialement d'être conservés intacts ou en tout cas d'être ménagés le plus possible (art. 6, al. 1, LPN).

Dans le cas du Pilate, le Tribunal fédéral est arrivé à la conclusion que le but de protection de l'IFP selon l'art. 6 LPN n'était pas altéré sensiblement si on limitait clairement les heures d'exploitation de l'éclairage. L'autorisation initiale accordée par le canton de Nidwald imposait déjà des restrictions dans le temps :

— éclairage pendant deux heures par nuit au maximum ;

— de fin novembre à mi-mars, éclairage uniquement le samedi et le dimanche, ainsi que lors d'événements extraordinaires ;

— pas d'éclairage par temps de brume ou de nuages à basse altitude.

Dans son arrêt de 1997, le Tribunal fédéral a encore ordonné des restrictions supplémentaires :

— Même pendant la saison estivale, l'éclairage ne doit pas être allumé plus de trois soirs par semaine, et jamais deux soirs consécutifs.

— L'allumage des projecteurs ne peut se faire qu'à la fin du crépuscule, et de manière progressive (sur une durée d'au moins cinq minutes).

Ces mesures garantissent que le spectacle naturel du crépuscule – et en particulier l'évolution des couleurs du sommet à la tombée du jour – ne souffre pas de l'éclairage artificiel. Elles assurent aussi que le Pilate ne se trouve pas illuminé brusquement de manière gênante, mais « doucement » une fois la nuit tombée.

Enfin, le Tribunal fédéral a précisé que l'octroi d'une autorisation pour l'illumination du Pilate n'a pas valeur de précédent pour l'éclairage de parties importantes d'autres sommets. La mise en évidence temporaire de la montagne emblématique de Lucerne par un jeu de lumière peut être vue comme la poursuite d'une longue tradition dans le « paysage touristique » entourant le lac des Quatre-Cantons. Selon le tribunal, le Pilate et la région touristique de Lucerne se distinguent ainsi clairement d'autres montagnes caractéristiques également situées dans des régions bien accessibles aux touristes.

4 Recommandations concernant l'évaluation de l'effet incommodant des immissions lumineuses pour l'homme (valeurs indicatives)

4.1 Généralités

Les valeurs indicatives proposées dans le présent chapitre permettent d'examiner si la lumière artificielle qui pénètre de l'extérieur – à partir de sources situées dans l'environnement – dans un local résidentiel est incommodante pour l'homme au sens de la loi sur la protection de l'environnement (LPE). Il s'agit d'évaluer deux effets incommodants qui peuvent survenir indépendamment l'un de l'autre : l'illumination des locaux, d'une part, et l'éblouissement incommodant, d'autre part.

Il convient de souligner que ces valeurs indicatives ne sont pas juridiquement contraignantes comme le sont les valeurs limites d'immissions, qui ne peuvent être édictées que par le Conseil fédéral en vertu de l'art. 13, al. 1, LPE. Elles doivent toutefois contribuer à ce que les immissions lumineuses, lors du traitement des cas particuliers, soient évaluées selon une pratique uniforme.

Les valeurs indicatives permettent de clarifier, dans un cas concret, si les immissions mesurées dans un logement sont excessives pour les personnes qui y vivent et s'il faut donc limiter plus sévèrement les émissions conformément à l'art. 11, al. 3, LPE (second niveau prévu par la LPE).

Elles font référence à l'ensemble des immissions affectant le local étudié. Il est possible de bien mesurer ces immissions totales dans une situation donnée (on utilise un appareil de mesure de l'éclairement [luxmètre] dans le cas de l'illumination des locaux et un appareil de mesure de la luminance [luminancemètre] dans le cas de l'éblouissement incommodant). En revanche, calculer les immissions totales à l'avance exige beaucoup de travail, parce qu'il faut modéliser toutes les sources de lumière des alentours.

Comme l'effet incommodant des immissions lumineuses pour l'homme dépend de la clarté de l'environnement proche, il est recommandé d'appliquer des valeurs indicatives différentes en fonction de la zone environnante.

4.2 Zones environnantes

Le Tableau 5 définit quatre catégories de zones environnantes, afin de tenir compte du fait que leur niveau de clarté la nuit dépend de leur utilisation existante. Cette classification découle du Guide CIE 150, qui différencie divers niveaux de clarté ambiante en fonction du type de zone concernée. En complément à la définition faite par la CIE, la description ci-dessous ne fait cependant pas référence directement à la clarté environnante, mais aux caractéristiques du bâti de la zone concernée.

Tableau 5 : Zones environnantes et caractéristiques de celles-ci

Catégorie	Description
Zone environnante 1	Zones rurales faiblement peuplées, habitations isolées
Zone environnante 2	Zones rurales modérément peuplées, zones purement résidentielles, périphéries de localités
Zone environnante 3	Agglomérations, zones densément bâties, zones résidentielles et industrielles (zones mixtes)
Zone environnante 4	Centres urbains et commerciaux

4.3 Illumination des locaux

4.3.1 Généralités

L'illumination des locaux (voir A3.1.4) est évaluée à l'aide de l'éclairement vertical E_v exprimé en lux et mesuré à la fenêtre du logement concerné (voir Figure 16).

Dans ce contexte, une importance particulière est accordée à la période débutant à 22 heures, parce que c'est le moment du repos nocturne et du sommeil pour la plus grande partie de la population. Les valeurs indicatives mentionnées à la section 4.3.2 pour évaluer l'illumination des locaux font ainsi référence à la période de tranquillité.

La durée de cette période de tranquillité est identique à l'horaire appliqué pour la protection contre le bruit. En règle général, celui-ci s'étend de 22 heures à 6 heures, mais il peut aussi aller jusqu'à 7 heures pour certains types de bruit[11].

En cas de réclamations portant sur des immissions en dehors de la période de tranquillité, en particulier avant 22 heures, il est recommandé de se fonder sur les normes applicables à la catégorie d'installations concernée et d'exiger le respect des valeurs correspondantes (voir chap. 4.3.3) Pour un lieu donné, ces normes portent toutefois à chaque fois sur les immissions provoquées par une seule installation, et non sur l'ensemble des immissions. Les seuils proposés sont donc comparables à des « valeurs limites d'émissions » ou à des prescriptions en matière d'exploitation au sens de l'art. 12 LPE (premier niveau de la LPE).

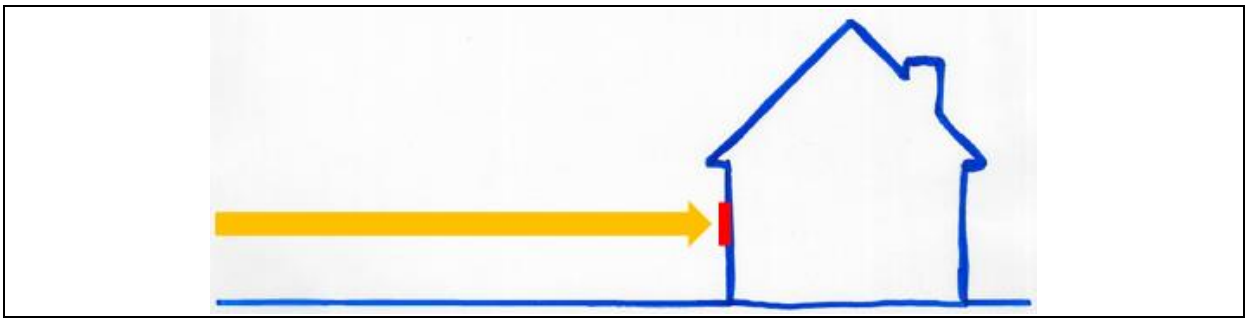


Figure 16 : L'illumination des locaux est évaluée à l'aide de l'éclairement parvenant perpendiculairement à la surface de vitre des fenêtres, exprimé en lux, pour la lumière provenant de l'extérieur. La surface de mesure de l'éclairement vertical est signalée en rouge.

4.3.2 Évaluation de l'illumination des locaux durant la période de tranquillité

Le Tableau 6 présente les valeurs indicatives utilisées pour évaluer les immissions durant la période de tranquillité, en fonction de la zone environnante. Celles-ci découlent des valeurs recommandées par le Guide CIE 150:2003 pour la période postérieure aux heures d'utilisation (« post-curfew ») en se référant aux immissions totales dues à toutes les sources de lumière des alentours. Alors que le Guide CIE préconise, pour l'évaluation, de recourir à l'éclairement vertical maximal mesuré sur une surface de fenêtre, la présente aide à l'exécution utilise l'éclairement vertical moyen du local le plus affecté (voir ci-dessous les remarques concernant l'évaluation). Deux arguments justifient ce choix : d'une part, la valeur retenue est plus facile à déterminer, au plan technique, et d'autre part, des mesures ont montré que les valeurs moyenne et maximale d'une même surface de fenêtre se situaient dans le même ordre de grandeur.

[11] Voir l'ordonnance sur la protection contre le bruit (OPB ; RS 814.41)

Tableau 6 : Valeurs indicatives pour l'évaluation de l'illumination des locaux (éclairement vertical E_v moyen exprimé en lux) sur les surfaces de fenêtre des locaux durant la période de tranquillité, en fonction de la zone environnante

Zone environnante	**Éclairement vertical E_v moyen exprimé en lux**
Zone environnante 1 Zones rurales faiblement peuplées, habitations isolées	0
Zone environnante 2 Zones rurales modérément peuplées, zones purement résidentielles, périphéries de localités	1
Zone environnante 3 Agglomérations, zones densément bâties, zones résidentielles et industrielles (zones mixtes)	2
Zone environnante 4 Centres urbains et commerciaux	5

Lorsque la lumière est colorée ou qu'elle varie dans le temps, elle produit un effet incommodant plus important que lorsqu'elle est blanche et constante (voir A3.1.4). Afin d'en tenir compte, on appliquera les facteurs de multiplication présentés dans le Tableau 7 aux immissions composées essentiellement (à plus de 80 %) de lumière colorée ou variant dans le temps. Ces facteurs correspondent aux valeurs fixées par la communauté de travail instituée par l'État fédéral et les länder allemands (LAI 2012).

Tableau 7 : Facteurs de multiplication appliqués lors de l'évaluation de l'illumination des locaux par de la lumière colorée ou variant dans le temps (au sujet de leur application, voir ci-dessous les remarques concernant l'évaluation.

	Facteur de multiplication
Lumière colorée :	2
Lumière variant dans le temps :	
Durée des périodes	
> 5 minutes	1
> 4 secondes à 5 minutes	1,5
> 2 à 4 secondes	2
> 1,5 à 2 secondes	3
Fréquence (en hertz [Hz])	
0,67 à 18 Hz	5
19 à 24 Hz	3
25 à 30 Hz	2
> 30 Hz	1

Remarques concernant l'évaluation

— L'évaluation porte sur les immissions totales mesurées pour les surfaces de fenêtre des locaux résidentiels.

— Pour cela, on compare les valeurs indicatives figurant au Tableau 6 le plus affecté.

— Après les mesures et les calculs, les valeurs obtenues exprimées en lux sont arrondies afin de parvenir à des nombres entiers. Par conséquent, la valeur indicative de 0 lux correspondant à la zone environnante 1 dans le Tableau 6 est respectée dès que la valeur déterminée est inférieure à 0,5 lux.

— Lorsque les immissions proviennent essentiellement (à plus de 80 %) d'une installation d'éclairage qui émet de la lumière colorée ou variant dans le temps, on multipliera les résultats de mesure ou de calcul concernant l'éclairement vertical par les facteurs de multiplication présentés dans le Tableau 7 avant d'arrondir le résultat obtenu. Le nombre issu de cette procédure constitue la valeur d'évaluation et doit respecter les valeurs indicatives du Tableau 6. Les facteurs applicables à la lumière colorée et à la lumière variant dans le temps ne doivent pas être cumulés : on appliquera uniquement le facteur le plus élevé.

Remarques concernant la mesure

— Le total des immissions, sous la forme de l'éclairement vertical, peut être facilement mesuré dans une situation donnée à l'aide d'un appareil de mesure approprié (luxmètre).

— L'appareil doit être capable de mesurer une valeur de 0,1 lux, ce qui veut dire que sa résolution doit atteindre 0,01 lux. En outre, il doit répondre au moins aux exigences de la classe B de la norme DIN 5023, partie 7, avec une erreur totale inférieure à 10 %.

— La mesure doit se faire par temps sec et dans des conditions d'obscurité nocturne. On renoncera aux mesures en cas de pluie, de neige ou de brume, parce que les résultats obtenus dépendent alors fortement des conditions météorologiques et ne peuvent pas être reproduits.

— La mesure se fait par la fenêtre ouverte ou directement devant la vitre, à l'extérieur ; l'éclairage de la pièce sera éteint au préalable.

— À titre subsidiaire, il est aussi possible de procéder à la mesure à l'extérieur, sur la façade à la hauteur des fenêtres, pour une surface comparable à une fenêtre.

— Pour mesurer l'éclairement vertical, le capteur de la tête du photomètre doit être orienté parallèlement à la surface de la fenêtre ou à la façade.

— Pour déterminer l'éclairement vertical moyen, il faut procéder à plusieurs mesures réparties régulièrement sur une grille de points (généralement entre 6 et 9 points) à la surface de la fenêtre. Aucune ombre portée (liée à l'épaisseur de la paroi de la maison ou à une balustrade, par exemple) ne doit atteindre la grille de points. La valeur d'évaluation correspond à la moyenne arithmétique des diverses valeurs mesurées.

Remarques concernant le calcul

Il est très compliqué de calculer à l'avance les immissions totales, parce qu'il faut pour cela modéliser toutes les sources de lumière des alentours. Dans le cadre d'une procédure d'autorisation, si l'autorité considère qu'il est nécessaire d'estimer les immissions totales pour une installation d'éclairage, elle peut aussi effectuer ou faire effectuer une telle estimation en combinant des calculs et des mesures : pour cela, il faut calculer l'éclairement vertical induit sur le lieu d'immission par l'installation d'éclairage (spécifique) prévue et l'ajouter à la charge déjà existante sur place, qu'on aura déterminée en la mesurant.

4.3.3 Évaluation de l'illumination des locaux en dehors de la période de tranquillité

Aucune valeur indicative spécifique n'est recommandée pour évaluer l'illumination des locaux en dehors de la période de tranquillité (voir chap. 4.3.1). Durant ces heures, les émissions doivent être réduites grâce à des mesures prises à la source, à titre préventif. Pour certaines catégories d'installations, il existe des normes qui fixent des exigences non seulement pour la qualité de l'éclairage fourni par l'équipement, mais aussi en ce qui concerne la limitation des émissions lumineuses dans les alentours (voir A1.4).

Ces normes montrent ainsi jusqu'à quel niveau il est possible d'abaisser les immissions dans les environs en exploitant l'installation de manière appropriée et conformément à l'état de la technique. Pour un lieu donné, les exigences se rapportent à chaque fois aux immissions d'une installation spécifique, et non pas aux immissions totales qui y existent. Elles sont ainsi comparables à des « valeurs limites d'émissions » ou à des prescriptions en matière d'exploitation au sens de l'art. 12 LPE (premier niveau de la LPE, limitation préventive des émissions).

En cas de réclamation portant sur l'illumination de locaux en dehors de la période de tranquillité, il est recommandé d'exiger le respect des valeurs figurant dans la norme correspondante. On peut aussi se référer à ces valeurs dans le cadre de procédures d'autorisation afin d'évaluer les résultats des calculs portant sur l'éclairement vertical pour la période précédant 22 heures.

Les dispositions déterminantes pour l'évaluation d'une installation d'éclairage du point de vue de l'illumination des locaux en dehors de la période de tranquillité sont les suivantes :

— Pour les infrastructures sportives : SN EN 12193:2008 « Éclairage des installations sportives », section 5.10 « Lumière indésirable » (voir colonne centrale du Tableau 8 ci-après).

— Pour les lieux de travail extérieurs[12] : SN EN 12464-2:2014 « Éclairage des lieux de travail extérieurs », section 4.5 « Lumière indésirable » (voir colonne centrale du Tableau 8 ci-après).

— Pour les publicités lumineuses : section 3.7 de la présente aide à l'exécution.

— Pour l'éclairage public : application de la procédure recommandée par l'Association suisse pour l'éclairage dans la norme SLG 202 pour le choix de lampes induisant le moins d'immissions possibles (voir la section 3.1.3 de la présente aide à l'exécution).

— Dans le cas des installations d'éclairage pour lesquelles les normes ne formulent pas d'exigences explicites, il est recommandé de se fonder sur les recommandations de la communauté de travail instituée par l'État fédéral et les länder allemands (Tableau 1 dans LAI 2012, voir la colonne de droite du Tableau 8 ci-dessous).

Tableau 8 : Exigences figurant dans les normes pour l'évaluation de l'illumination des locaux (éclairement vertical E_v en lux) causée par une installation spécifique en dehors de la période de tranquillité et mesurée sur la surface de fenêtre des locaux résidentiels, en fonction de la zone environnante

Zone environnante	**Éclairement vertical E_v maximal exprimé en lux selon SN EN 12193:2008 « Éclairage des installations sportives » et SN EN 12464-2:2014 « Éclairage des lieux de travail extérieurs »**	**Éclairement vertical E_v moyen exprimé en lux selon LAI 2012**
Zone environnante 1 Zones rurales faiblement peuplées, habitations isolées	2	1
Zone environnante 2 Zones rurales modérément peuplées, zones purement résidentielles, périphéries de localités	5	3
Zone environnante 3 Agglomérations, zones densément bâties, zones résidentielles et industrielles (zones mixtes)	10	5
Zone environnante 4 Centres urbains et commerciaux	25	15

Remarques concernant l'évaluation du respect des exigences présentées au Tableau 8

— L'évaluation porte sur les immissions produites par une installation spécifique et mesurées pour les surfaces de fenêtre des locaux résidentiels.

— Les valeurs mesurées ou calculées exprimées en lux sont arrondies afin de parvenir à des nombres entiers.

— Lorsque l'évaluation se fait selon la publication de la LAI (colonne de droite), pour une installation d'éclairage émettant de la lumière colorée ou variant dans le temps, le résultat obtenu par mesure ou par calcul pour l'éclairement vertical doit être multiplié par le facteur présenté au Tableau 7

[12] Chantiers, stations-service, installations industrielles, certains secteurs des aérodromes ou quais ferroviaires, par exemple.

avant d'être arrondi. Le nombre ainsi obtenu constitue la valeur d'évaluation et doit respecter les exigences mentionnées dans la colonne de droite du Tableau 8. Les facteurs utilisés pour la lumière colorée et pour la lumière variant dans le temps ne doivent pas être cumulés : on appliquera le facteur le plus élevé (LAI 2012).

Remarques concernant la mesure

— Il n'est pas possible de mesurer directement les immissions engendrées par une installation d'éclairage spécifique, mais on peut les déterminer de manière indirecte : il suffit de mesurer les immissions (totales) avec l'installation allumée et avec l'installation éteinte, et de calculer ensuite la différence entre les deux résultats obtenus. Une autre méthode consiste à saisir deux paramètres à la fois lors de la mesure des immissions (totales) : l'éclairement, d'une part, et la luminance, grâce à un luminancemètre, d'autre part. Cela permet ensuite de quantifier la contribution de l'installation d'éclairage concernée, grâce à l'image de luminance.

— Pour le reste, les exigences concernant les mesures et l'appareil de mesure sont les mêmes que celles décrites pour l'évaluation de l'illumination des locaux durant la période de tranquillité (voir chap. 4.3.2).

Remarques concernant le calcul

Les immissions provoquées par une installation d'éclairage spécifique sont relativement aisées à calculer. Lors de la planification, on détermine fréquemment l'éclairement horizontal au sol afin de vérifier le respect des exigences fixées par les normes pour la qualité de l'éclairage. Une fois cette situation modélisée dans le logiciel, il est possible – sans y consacrer trop de temps – de rajouter des surfaces verticales dans le modèle afin d'y calculer l'éclairement vertical.

4.4 Éblouissement incommodant durant la nuit

4.4.1 Généralités

On parle d'éblouissement incommodant durant la nuit lorsque des personnes se sentent dérangées ou incommodées par des sources lumineuses claires situées dans leur champ visuel alors que le reste de leur environnement est obscur (voir A3.1.3). Ce type de désagrément ne peut se produire et être évalué que lorsque la source éblouissante est directement visible depuis le lieu d'immission (un logement, par exemple).

L'**effet incommodant** dépend :

— de la luminance de la source lumineuse (en candelas par mètre carré [cd/m^2]),

— de la surface de la source lumineuse, exprimée en tant qu'angle solide (en stéradian [sr]) sous lequel cette source est vue par les personnes affectées (taille apparente), et

— de la luminance de l'environnement (en cd/m^2).

Dans une **situation spécifique**, tous ces paramètres peuvent être saisis en une fois à l'aide d'un **luminancemètre,** puis déterminés à l'aide d'un logiciel approprié (voir Figure 17).Il est en revanche plus difficile d'établir des **prévisions**. On peut certes calculer la luminance d'une installation donnée, mais il faut également disposer d'estimations concernant la taille apparente de la source lumineuse éblouissante (angle solide) lorsqu'elle est vue d'un ou éventuellement de plusieurs lieu(x) d'immission ; une estimation de la luminance de l'environnement est aussi nécessaire. Déterminer ces paramètres peut vite exiger beaucoup de travail et les estimations sont entachées d'incertitudes.

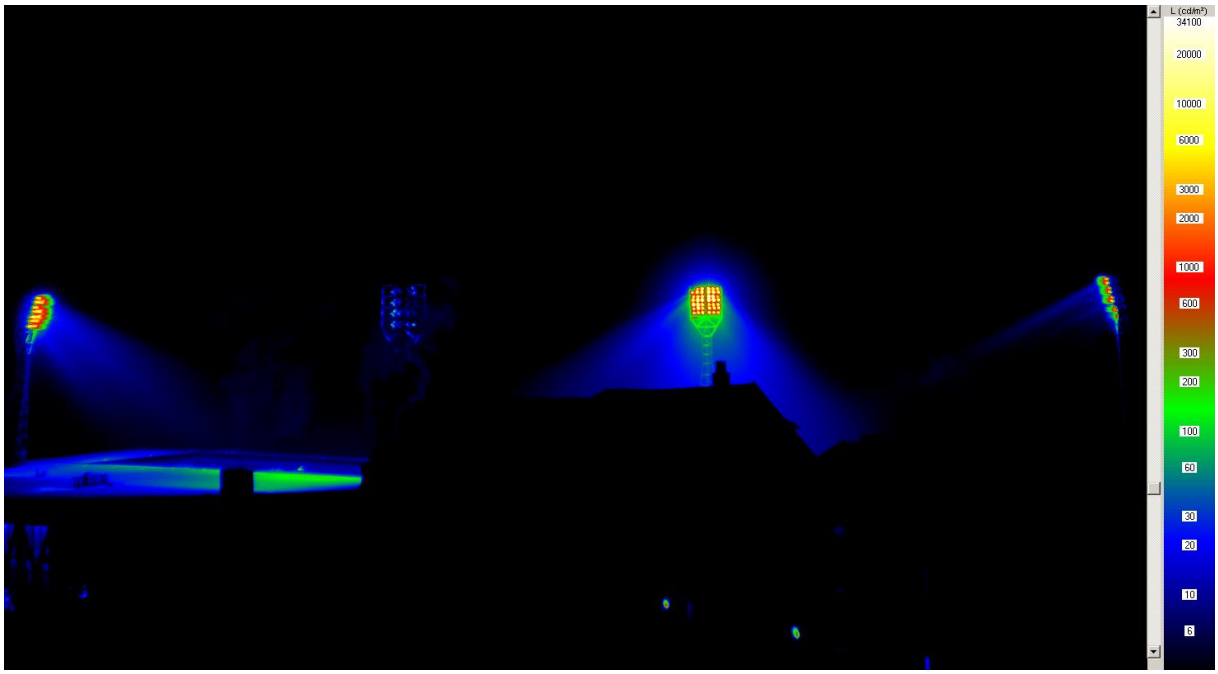


Figure 17 : Éclairage d'un stade, saisi à l'aide d'un luminancemètre. À partir d'une telle image (représentation en fausses couleurs), un logiciel approprié peut déterminer la luminance moyenne et l'angle solide de la source lumineuse éblouissante, ainsi que la luminance de l'environnement (graphique : METAS).

L'évaluation de l'éblouissement incommodant présentée ci-dessous s'inspire des indications de la communauté de travail instituée par l'État fédéral et les länder allemands (LAI 2012). Contrairement à ce qui est le cas pour l'évaluation de l'illumination de locaux (voir chap. 4.3) les valeurs indicatives proposées ne se limitent pas à la période de tranquillité, mais doivent toujours être appliquées lorsqu'il fait sombre.

4.4.2 Évaluation de l'éblouissement incommodant

Pour évaluer l'éblouissement incommodant, il faut déterminer comme valeur auxiliaire la masse éblouissante k_S à l'aide de l'Équation 1. Celle-ci ne doit pas dépasser la valeur indicative figurant dans le Tableau 9 : Valeurs indicatives k pour l'évaluation de l'éblouissement incommodantpour la zone environnante concernée.

Pour calculer la masse éblouissante k_S, il faut déterminer la luminance moyenne $\overline{L_S}$ de la source lumineuse éblouissante à évaluer, l'angle solide Ω_S qui s'y rapporte depuis le lieu d'immission et la luminance de l'environnement L_U (voir Figure 18).

La masse éblouissante k_S est obtenue comme suit :

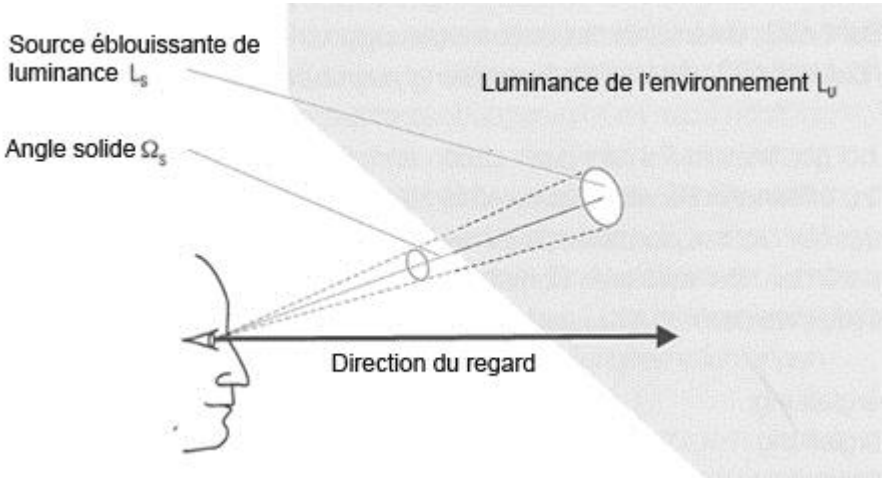
$$k_S = \overline{L_S} \cdot \sqrt{\frac{\Omega_S}{L_U}} \qquad \textit{Équation 1}$$

Avec :

— $\overline{L_S}$: luminance moyenne de la source lumineuse éblouissante, en cd/m² ;

— L_U : luminance de l'environnement de la source lumineuse éblouissante, en cd/m² ;

— Ω_S : angle solide de la source lumineuse éblouissante vue du lieu d'immission, en stéradians (sr).



Angle solide : $\Omega_S = \frac{F_P}{R^2}$ avec $F_P = F_i \cdot \cos \varepsilon_i$,

où F_P est la taille apparente de la lampe en m² et F_i la surface effective de la lampe en m²

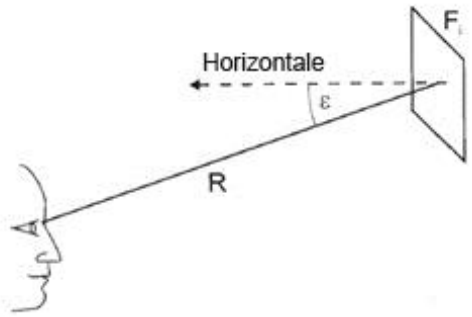


Figure 18 : Esquisses illustrant les grandeurs qui influencent l'éblouissement incommodant et doivent être déterminées pour calculer la masse éblouissante k_S (source : LiTG 12.3-2011).

Le champ d'application de l'Équation 1 se limite à :

— une luminance de l'environnement L_U comprise entre 0,1 cd/m² et 10 cd/m² (si la luminance de l'environnement obtenue sur la base de mesures est inférieure à 0,1 cd/m², le calcul se fait avec L_U = 0,1 cd/m²) ;

— un angle solide Ω_S compris entre 10^{-6} sr et 10^{-2} sr :

  — en dessous de $\Omega_S = 10^{-6}$ sr, on est en présence d'une source « en forme de point ». Dans ce cas, la luminance (éblouissante) E_s (en lux) est déterminante pour évaluer l'éblouissement : elle ne doit pas dépasser une valeur égale à $10^{-3} \cdot k \cdot \sqrt{L_U}$. Pour k, on utilisera la valeur correspondante présentée au Tableau 9;

  — en dessus de $\Omega_S = 10^{-2}$ sr, on a affaire à une source de grande surface et l'angle solide ne joue plus aucun rôle. Dans l'Équation 1, on utilise $\Omega_S = 10^{-2}$ sr. Il en résulte que la luminance moyenne de la source lumineuse éblouissante $\overline{L_S}$ ne doit pas dépasser $10 \cdot k \cdot \sqrt{L_U}$. Pour k, on utilisera la valeur correspondante présentée au Tableau 9.

Tableau 9 : Valeurs indicatives k pour l'évaluation de l'éblouissement incommodant

Zone environnante	**Valeur indicative k**
Zone environnante 1 Zones rurales faiblement peuplées, habitations isolées	32
Zone environnante 2 Zones rurales modérément peuplées, zones purement résidentielles, périphéries de localités	32
Zone environnante 3 Agglomérations, zones densément bâties, zones résidentielles et industrielles (zones mixtes)	32
Zone environnante 4 Centres urbains et commerciaux	160

Remarques concernant l'évaluation

— Il est recommandé de déterminer les paramètres requis pour calculer la masse éblouissante k_S (luminance moyenne $\overline{L_S}$ de la source lumineuse éblouissante à évaluer, angle solide Ω_S qui s'y rapporte et luminance de l'environnement L_U) à l'aide d'un luminancemètre et du logiciel qui l'accompagne.

— La saisie à l'aide du luminancemètre se fait depuis le lieu d'immission.

— Pour la luminance de l'environnement, on utilise la luminance moyenne dans une plage angulaire de ± 10° autour de la source lumineuse à évaluer (ce qui correspond à un cône d'une ouverture de 20°). La source de lumière éblouissante reste allumée pendant la saisie, parce qu'elle peut influencer la luminance de l'environnement, mais elle est omise lors de l'analyse (par exemple en la masquant à l'aide d'un logiciel sur l'image de luminance, voir Figure 19).

— Les paramètres relevés permettent de calculer la masse éblouissante k_S conformément à l'Équation 1. La valeur obtenue ne doit pas dépasser la valeur indicative mentionnée au Tableau 9 pour la zone environnante concernée.

— Lorsque plusieurs sources lumineuses éblouissantes séparées les unes des autres coexistent dans le champ visuel, il convient d'évaluer chaque source séparément.

Remarques concernant la mesure

— Le luminancemètre doit pouvoir mesurer des valeurs comprises entre 0,01 cd/m² et 10^6 cd/m² (en plusieurs niveaux). Sa résolution doit se monter à 1 % de la valeur pleine échelle de chaque plage

de mesure. L'appareil répondra au moins aux exigences de la classe B de la norme DIN 5023, partie 7, avec une erreur totale inférieure à 15 %.

— Pour obtenir des résultats de mesure présentant une incertitude faible, il faut disposer d'objectifs à focale appropriée qui permettent de reproduire la source lumineuse éblouissante de manière nette et à la plus grande résolution de pixels possible. Souvent, un objectif supplémentaire est nécessaire pour la mesure de la luminance de l'environnement, afin de saisir la plage angulaire de ± 10° autour de la source lumineuse à évaluer.

— La mesure doit se faire par temps sec et dans des conditions d'obscurité nocturne. On renoncera aux mesures en cas de pluie, de neige ou de brume, parce que les résultats obtenus dépendent alors fortement des conditions météorologiques et ne peuvent pas être reproduits.

— La mesure se fait par la fenêtre ouverte ou directement devant la vitre, à l'extérieur ; l'éclairage de la pièce sera éteint au préalable.

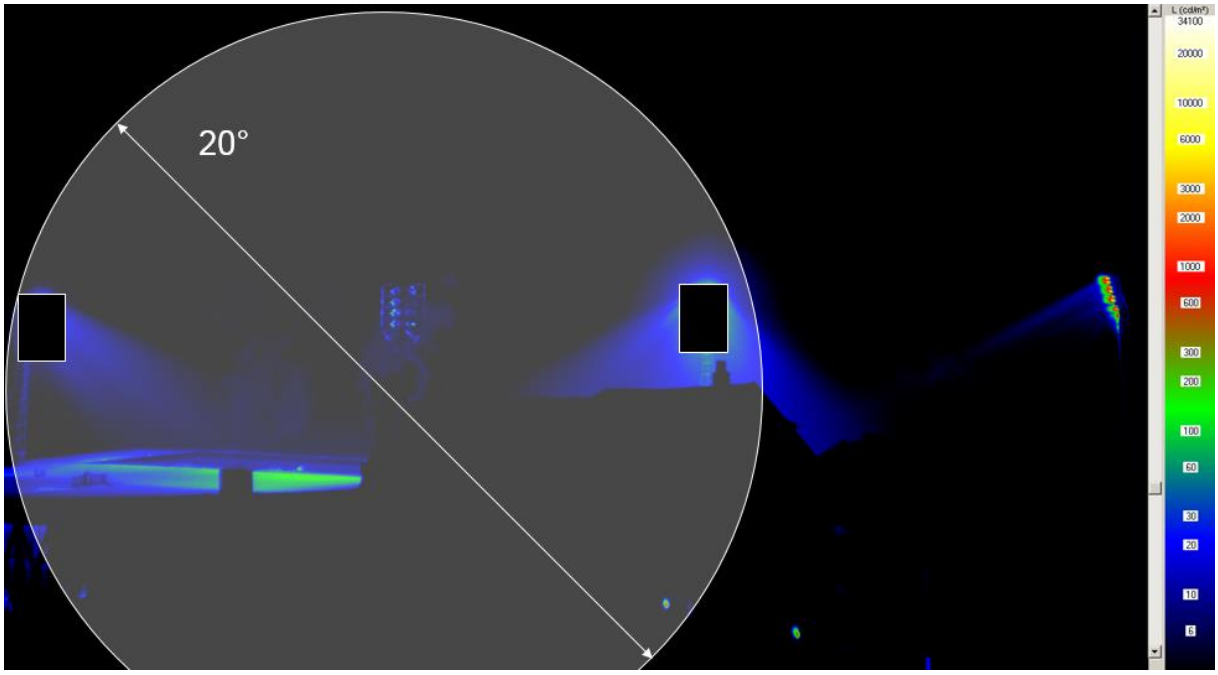


Figure 19 : Détermination de la luminance de l'environnement, qui correspond à la luminance moyenne dans une plage angulaire de ± 10° autour de la source de lumière à évaluer. La source éblouissante doit rester allumée pendant la saisie, parce qu'elle peut influencer la luminance de l'environnement (par l'intermédiaire de réflexions dans l'atmosphère, sur le sol ou sur les surfaces voisines), mais elle est omise lors de l'analyse (graphique : METAS).

Remarques concernant les prévisions

Il est très astreignant de prévoir l'éblouissement incommodant en se fondant sur le calcul de la luminance de la source éblouissante et de celle de l'environnement (voir chap. 4.4.1). Dans la pratique, lors de la planification d'installations spécifiques, on utilise donc à la place l'intensité lumineuse (en candelas) dans la direction du lieu d'immission. Comme la clarté des alentours n'est alors pas prise en compte, l'utilité de ces prévisions reste toutefois limitée. En effet, alors qu'une installation d'une intensité lumineuse donnée ne provoque pas de gêne dans un environnement clair, elle peut tout à fait le faire dans un environnement sombre.

Lorsqu'il est nécessaire d'estimer à l'avance – par exemple dans le cadre d'une procédure d'autorisation – si des éblouissements incommodants peuvent survenir plus tard durant l'exploitation, il faut déterminer en guise de première indication s'il sera possible de voir directement les lampes depuis des lieux d'immission situés dans les alentours. Le cas échéant, des mesures techniques prises à la source devraient empêcher autant que possible une telle vue directe.

5 Recommandations concernant la limitation des émissions lumineuses durant la journée

À côté de l'éclairage artificiel nocturne, le rayonnement solaire modifié par la construction ou l'exploitation d'installations peut aussi constituer une atteinte nuisible ou incommodante entrant dans le champ d'application de la loi sur la protection de l'environnement (LPE ; RS 814.01). En font notamment partie la lumière du soleil reflétée par des façades, des fenêtres ou des installations solaires (voir chap. 5.1) ou la lumière modifiée par la rotation des pales d'une éolienne (voir chap. 5.2).

En revanche, les phénomènes naturels (tels que les reflets à la surface d'un lac) ne tombent pas dans le domaine protégé par la LPE ; il en va de même d'un éblouissement lié par exemple à la réflexion de la lumière du soleil par la neige sur le toit d'un bâtiment, la neige ne constituant pas un élément architectonique de l'installation.

5.1 Réflexion de la lumière du soleil

5.1.1 Généralités

La lumière du soleil reflétée par des éléments artificiels tels que façades de verre, revêtements métalliques, installations photovoltaïques ou capteurs solaires fait partie des atteintes que la LPE exige de limiter de manière à ce qu'elles ne deviennent ni nuisibles ni incommodantes (voir A1.2.1)

Un certain nombre de **décisions de justice** concernent déjà cette thématique. Dans ce cadre, il a été estimé qu'une durée d'éblouissement de 50 minutes par jour n'est plus admissible. Des durées allant de 20 à près de 30 minutes par jour ont été considérées comme acceptables (EBP 2016).

Un arrêt du **Tribunal fédéral** datant de 2012 (1C_177/2011 du 9 février 2012) concernait des capteurs solaires situés sur un bien immobilier privé à Berthoud (BE). En réfléchissant la lumière du soleil, ces équipements induisaient des effets d'éblouissement sur une parcelle voisine située un peu plus haut. Le Tribunal fédéral est arrivé à la conclusion qu'il n'y avait pas, dans ce cas précis, d'immissions lumineuses nuisibles ou incommodantes au sens de la LPE (second niveau de la LPE). Les émissions doivent cependant être limitées à la source à titre préventif dans la mesure que permettent l'état de la technique et les conditions d'exploitation et pour autant que cela soit économiquement supportable (premier niveau de la LPE). Dans le cas soumis à son appréciation, le Tribunal fédéral n'a identifié aucune possibilité de réduction proportionnée. Le principe de prévention de la LPE exige néanmoins d'utiliser des produits induisant le plus faible éblouissement possible. Cela s'applique aussi aux capteurs solaires ne nécessitant pas d'autorisation de construire.

Au plan fédéral, c'est le **droit de l'aménagement du territoire** qui détermine si une installation solaire est dispensée ou non d'autorisation de construire. Selon l'art. 18a de la loi sur l'aménagement du territoire (LAT ; RS 700), en vigueur depuis le 1er mai 2014, les « installations solaires suffisamment adaptées aux toits » ne nécessitent en principe plus d'autorisation de construire dans les zones à bâtir et les zones agricoles, mais doivent simplement être annoncées à l'autorité compétente. En revanche, l'autorisation reste requise pour les installations solaires construites sur des biens culturels ou des monuments naturels d'importance cantonale ou nationale.

En vertu de l'ordonnance sur l'aménagement du territoire (OAT ; RS 700.1), les installations solaires sont « suffisamment adaptées aux toits » lorsqu'elles sont notamment **peu réfléchissantes selon l'état des connaissances techniques** (art. 32*a*, al. 1, let. c, OAT). Une conception peu réfléchissante contribue aussi à la réduction préventive du caractère éblouissant pour les alentours, comme l'exige le droit de l'environnement.

Le **caractère éblouissant des surfaces réfléchissantes** dépend essentiellement de la durée des réflexions et de leur intensité. L'intensité dépend à son tour des propriétés superficielles du matériau et de l'angle de rayonnement du soleil. Un traitement particulier de la surface (surface de verre « antireflet » structurée) peut réduire l'intensité des réflexions en diffusant davantage la lumière reflétée. L'élargissement du faisceau lumineux reflété réduit ainsi l'intensité sur le lieu d'immission, mais la durée de l'éblouissement peut aussi s'en trouver prolongée. Pour diminuer l'éblouissement dans les environs, en fonction de la situation concrète, différentes solutions peuvent donc s'avérer judicieuses pour ce qui est du taux de réflexion des matériaux utilisés.

5.1.2 Remarques concernant l'évaluation

— Par manque de connaissances empiriques sur le potentiel incommodant de la lumière solaire en fonction de l'intensité et de la durée de celle-ci, il n'est pas possible de formuler des valeurs limites ou des valeurs indicatives pour l'évaluation. Les critères parfois utilisés en cas de projection périodique d'une ombre par une éolienne (voir chap. 5.2) sont considérés comme inappropriés pour apprécier un éblouissement constant.

— Dans un cas concret, pour décider si la lumière réfléchie est excessive ou admissible, il faut donc toujours recourir à des visites sur place et à une appréciation subjective faite par des experts.

— Dans ce contexte, les immissions doivent être prises en compte non pas sur toute la parcelle, mais seulement dans les lieux où des personnes séjournent de manière prolongée (locaux d'habitation, balcon ou coin détente du jardin, par exemple).

5.2 Effets des éoliennes sur la lumière

5.2.1 Généralités

La rotation des pales d'une éolienne modifie artificiellement la lumière du soleil. Il peut en résulter, de deux manières différentes, une atteinte incommodante au sens de l'art. 7, al. 1, LPE : soit les pales reflètent la lumière (**éclairs lumineux, « effet discothèque »**), soit elles l'interrompent régulièrement à une fréquence élevée (on parle alors de **projection périodique d'une ombre, d'effet stroboscopique ou de clignotement artificiel**). Ces effets ne surviennent cependant que lorsque le rayonnement solaire et le vent sont suffisants (OFEN 2008, LAI 2002).

Les **éclairs lumineux** dépendent de la brillance de la surface des pales et de la réflectivité de la peinture choisie. En utilisant des peintures à faible brillance (mates) pour le revêtement des pales, il est possible de réduire l'intensité des éventuels reflets ainsi que la gêne causée par ces derniers (LAI 2002).

La gêne causée par la **projection périodique d'une ombre** ou un **clignotement artificiel** dans les locaux résidentiels ou professionnels du voisinage peut être limitée autant que possible en choisissant soigneusement le site d'implantation de l'installation lors de sa planification, à titre préventif. Il est également possible de restreindre l'apparition de ces phénomènes en arrêtant temporairement l'éolienne.

Il n'existe pas en Suisse de valeurs limites ou de valeurs indicatives précisant à partir de quand les immissions causées par une éolienne en un lieu donné doivent être considérées comme nuisibles ou incommodantes. L'autorité chargée d'appliquer le droit (autoriser une éolienne incombe aux cantons et communes) doit donc évaluer au cas par cas, en se fondant directement sur la LPE, si des immissions lumineuses doivent être jugées nuisibles ou incommodantes. L'autorité peut s'appuyer pour cela sur des indications fournies par des experts ou des services spécialisés, ou prendre en compte des valeurs limites ou des valeurs indicatives issues de réglementations privées ou étrangères, dans la mesure toutefois où les critères d'évaluation retenus sont compatibles avec ceux du droit suisse de l'environnement.

5.2.2 Remarques concernant l'évaluation

Publiées en 2002, les ***Indications concernant la détermination et l'évaluation des immissions optiques dues aux éoliennes*** (« Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanla-gen (WEA-Schattenwurf-Hinweise) ») de la communauté de travail instituée par l'État fédéral et les länder allemands (LAI) constitue une réglementation de ce type. La LAI applique ces indications lors de l'évaluation des deux effets que les éoliennes peuvent avoir pour l'homme, tels que décrits ci-dessus, afin d'assurer une exécution homogène de la loi fédérale allemande de protection contre les immissions (Bundes-Immissionsschutzgesetzes, BImSchG) (voir A1.4.3)

Selon cette publication de la LAI, une atteinte provoquée par la projection périodique d'une ombre est considérée comme acceptable lorsque la durée maximale possible de cet effet dans chaque lieu d'immission **ne dépasse pas 30 minutes par jour, ni un total de 30 heures par an**. Lorsque l'effet dure

davantage, la LAI prend en considération des mesures techniques permettant de restreindre l'exploitation de l'éolienne dans le temps (arrêt automatique, par exemple).

6 Annexe

A1 Cadre légal

Ce chapitre présente les exigences que divers actes législatifs définissent afin de protéger l'homme, le paysage, les animaux et les plantes, ainsi que leurs biotopes, contre les atteintes liées à la lumière.

La section 1.7 propose une synthèse des principales exigences formulées par le droit fédéral. Il y est aussi précisé qui doit procéder à quels contrôles dans ce domaine. Les chapitres 2 à 5 décrivent pour leur part la manière dont les exigences définies doivent être mises en œuvre et respectées sur les plans de la technique et de l'exploitation, et comment ces aspects peuvent être contrôlés.

A1.1 Généralités

Au niveau fédéral, différents textes légaux exigent que l'homme et l'environnement soient protégés des immissions lumineuses. Toutefois, contrairement à d'autres aspects environnementaux, cette protection n'a jusqu'ici pas été concrétisée dans une ordonnance.

À côté des bases légales adoptées par la Confédération (voir A1.2) il existe également au niveau cantonal et communal des instruments juridiques réglementant la limitation des émissions lumineuses (voir A1.3). Enfin, certaines normes de droit privé et recommandations étrangères ont aussi pour but de limiter les effets négatifs de l'éclairage artificiel (voir A1.4).

A1.2 Bases légales de la Confédération

Les textes législatifs fédéraux mentionnés ci-après sont déterminants lorsqu'il s'agit d'éviter les atteintes et les dommages liés à la lumière artificielle :

- la Constitution fédérale (Cst. ; RS 101), avec l'art. 74 ainsi que l'art. 78 ;
- la loi fédérale sur la protection de l'environnement (loi sur la protection de l'environnement, LPE ; RS 814.01), avec l'art. 1, l'art. 7, al. 1, 2 et 7, ainsi que les art. 11 à 14 et 16 à 18 ;
- la loi fédérale sur la protection de la nature et du paysage (LPN ; RS 451), avec les art. 1 à 3, 5, 6, 18, 18*a* et 18*b*, l'art. 20, al. 1, ainsi que les art. 23*b* à 23*d* ;
- la loi fédérale sur la chasse et la protection des mammifères et oiseaux sauvages (loi sur la chasse, LChP ; RS 922.0), avec l'art. 1, al. 1, et l'art. 7, al. 4 ;
- la loi fédérale sur la pêche (LFSP ; RS 923.0), avec l'art 5 ;
- la loi fédérale sur l'aménagement du territoire (loi sur l'aménagement du territoire, LAT ; RS 700), avec les art. 1, 3, 17, 22 et 24 ;
- la loi sur l'énergie (LEne ; RS 730.0), avec l'art. 1 ainsi que l'art. 3 ;
- le code civil (CC ; RS 210), avec les art. 679 et 684.

A1.2.1 Protection de l'homme et de l'environnement (loi sur la protection de l'environnement [LPE])

La **loi sur la protection de l'environnement** (LPE ; RS 814.01) a pour but de protéger les hommes, les animaux et les plantes, leurs biocénoses et leurs biotopes contre les atteintes nuisibles ou incommodantes (art. 1, al. 1, LPE). Les atteintes qui pourraient devenir nuisibles ou incommodantes doivent être réduites à titre préventif et assez tôt (art. 1, al. 2, LPE). Selon l'art. 7, al. 1, les « rayons » (non ionisants) qui sont dus à la construction ou à l'exploitation d'installations[13] constituent aussi des atteintes au sens de la LPE. La lumière produite artificiellement la nuit, ainsi que la lumière du soleil modifiée (notamment réfléchie) par la construction ou l'exploitation d'installations, entrent ainsi dans le champ d'application de la LPE.

[13] « Par installations, on entend les bâtiments, les voies de communication ou autres ouvrages fixes ainsi que les modifications de terrain. Les outils, machines, véhicules, bateaux et aéronefs sont assimilés aux installations » (art. 7, al. 7, LPE).

Dans le droit fédéral, la protection contre le rayonnement non ionisant n'a été concrétisée jusqu'ici que pour la gamme de fréquences allant de 0 hertz à 300 gigahertz (ordonnance sur la protection contre le rayonnement non ionisant, ORNI ; RS 814.710). La lumière visible, dont la fréquence se situe entre 384 et 789 térahertz et la longueur d'onde entre 780 et 380 nanomètres, n'est donc pas couverte par le champ d'application de l'ORNI. La protection contre la lumière visible s'échappant d'installations fixes situées dans l'environnement doit donc être assurée par les autorités chargées d'appliquer le droit au moyen de décisions se fondant directement sur les art. 11 à 14 ainsi que 16 à 18 LPE (voir l'art. 12, al. 2, LPE).

Dans la LPE, la protection repose sur une conception à deux niveaux :

— Au **premier niveau**, l'art. 11, al. 2, LPE exige que les émissions soient limitées indépendamment des nuisances existantes, à titre préventif, dans la mesure que permettent l'état de la technique et les conditions d'exploitation et pour autant que cela soit économiquement supportable (**limitation préventive des émissions**).

— Au **second niveau**, les **émissions doivent être limitées plus sévèrement** si l'on constate ou s'il y a lieu de présumer que les atteintes, vu la charge actuelle de l'environnement, seront nuisibles ou incommodantes (art. 11, al. 3, LPE). De telles immissions sont considérées comme excessives. Le Conseil fédéral édicte donc par voie d'ordonnance des valeurs limites d'immissions permettant d'évaluer à partir de quel niveau des atteintes sont nuisibles ou incommodantes (art. 13, al. 1, LPE). L'art. 13, al. 2, LPE précise encore que le Conseil fédéral tient compte pour cela de l'effet des immissions sur des catégories de personnes particulièrement sensibles, telles que les enfants, les malades, les personnes âgées et les femmes enceintes.

Les émissions doivent être limitées par des **mesures prises à la source** (art. 11, al. 1, LPE). Ces limitations sont introduites avec l'adoption par voie d'ordonnance de valeurs limites d'émissions ou de prescriptions en matière de construction, d'équipement, de trafic ou d'exploitation ; à défaut, elles peuvent aussi figurer dans des décisions fondées directement sur la loi (art. 12 LPE).

Jusqu'ici, le Conseil fédéral n'a fixé aucune **valeur limite d'immissions** pour évaluer si les effets d'un rayonnement lumineux sont nuisibles ou incommodants. Par conséquent, l'autorité chargée d'appliquer le droit doit évaluer au cas par cas, en se fondant directement sur la LPE, si des immissions lumineuses doivent être considérées comme nuisibles ou incommodantes. Elle peut s'appuyer pour cela sur des indications fournies par des experts ou des services spécialisés, ou prendre en compte des valeurs limites ou des valeurs indicatives issues de réglementations privées ou étrangères, dans la mesure toutefois où les critères d'évaluation retenus sont compatibles avec ceux du droit suisse de l'environnement. La section A1.4 décrit certaines de ces normes de droit privé et recommandations étrangères, alors que le chapitre 4 montre comment déterminer dans des cas concrets, grâce à des valeurs indicatives, si des immissions lumineuses sont excessives pour l'homme.

Ces dernières années, le **Tribunal fédéral** a pris plusieurs décisions concernant des émissions lumineuses en se fondant directement sur la LPE. Deux **arrêts principaux**, en particulier, montrent jusqu'où doit aller la protection contre les immissions lumineuses : l'un concerne un éclairage décoratif et des illuminations de Noël (ATF 140 II 33, voir chap. 3.8.2), l'autre l'éclairage d'une gare (ATF 140 II 214, voir chap. 3.6). Dans les deux cas, le tribunal a estimé que les immissions concrètes n'étaient pas excessives pour l'homme au sens de la LPE (second niveau). Il a cependant confirmé le principe selon lequel les immissions de lumières superflues doivent être évitées à titre préventif, dans la mesure que permettent l'état de la technique et les conditions d'exploitation et pour autant que cela soit économiquement supportable (premier niveau). Comme les nuisances liées aux immissions lumineuses tendent à augmenter insidieusement et qu'on manque par ailleurs des connaissances nécessaires pour quantifier les effets négatifs de la lumière artificielle sur les plantes et les animaux, le Tribunal fédéral considère qu'il est d'intérêt public d'éviter les émissions lumineuses superflues. Il convient par conséquent, de manière générale, de n'éclairer que ce qui doit l'être ; de plus, pour ce qui est des éclairages n'ayant pas d'incidence sur la sécurité, il faut s'efforcer de garantir une période de tranquillité entre 22 heures et 6 heures, de manière similaire à ce qui se fait pour lutter contre le bruit (Tribunal fédéral 2014).

A1.2.2 Protection du paysage (loi sur la protection de la nature et du paysage [LPN])

Les immissions lumineuses peuvent affecter le paysage nocturne et nuire à l'aspect caractéristique du paysage et des localités. Les atteintes en la matière doivent donc être évaluées dans le cadre des art. 3 et 6 de la **loi sur la protection de la nature et du paysage** (LPN ; RS 451).

La Confédération, ses instituts et ses établissements, de même que les cantons, doivent donc prendre soin, dans l'accomplissement des tâches de la Confédération au sens de l'art. 2 LPN, de ménager l'aspect caractéristique du paysage et des localités, les sites évocateurs du passé, les curiosités naturelles et les monuments historiques et, lorsque l'intérêt général prévaut, d'en préserver l'intégrité (art. 3 LPN).

Ils s'acquittent de ce devoir en construisant et en entretenant de manière appropriée leurs propres bâtiments et installations ou en renonçant à construire, en attachant des charges ou des conditions aux autorisations et aux concessions ou en refusant celles-ci, et en n'allouant des subventions que sous conditions ou en refusant d'en allouer (art. 3, al. 2, LPN).

Cette protection garantie par la LPN s'applique de manière particulièrement stricte aux objets des inventaires fédéraux visés à l'art. 5 (voir l'art. 6 LPN). Les art. 23*b* à 23*d* LPN s'appliquent aux sites marécageux qui bénéficient de la protection de la Constitution fédérale.

Le Tribunal fédéral s'est fondé sur la LPN pour émettre un arrêt principal au sujet de l'éclairage du sommet du Pilate (ATF 123 II 256, voir chap. 3.9).

A1.2.3 Protection de la biodiversité (LPN, loi sur la chasse [LChP], loi sur la pêche [LFSP])

Les effets des immissions lumineuses sur la diversité des espèces doivent être évalués dans le cadre des art. 18 et 20 LPN. Les dispositions de cette loi sont précisées dans les articles 13 à 19 de l'ordonnance sur la protection de la nature et du paysage (OPN ; RS 451.1). L'art. 14, al. 2, OPN contient des dispositions d'application comme notamment la délimitation de zones tampon suffisantes du point de vue écologique.

La disparition d'espèces animales et végétales indigènes doit être prévenue par le maintien d'un espace vital suffisamment étendu (biotopes), ainsi que par d'autres mesures appropriées (art. 18, al. 1, LPN). Il y a lieu de protéger tout particulièrement les biotopes tels que les rives et les marais, ainsi que d'autres sites qui jouent un rôle dans l'équilibre naturel ou présentent des conditions particulièrement favorables pour les biocénoses (art. 18, al. 1bis, LPN).

Pour les **atteintes d'ordre technique** aux biotopes dignes de protection, tous les intérêts doivent être mis dans la balance. Une atteinte d'ordre technique qui peut entraîner la détérioration de biotopes dignes de protection ne peut être autorisée que si elle s'impose à l'endroit prévu et qu'elle correspond à un intérêt prépondérant (art. 14, al. 6, OPN). Si une détérioration du biotope ne peut être évitée, l'auteur de l'atteinte doit veiller, en vertu des art. 18, al. 1ter, LPN et 14, al. 7, OPN, à prendre des mesures particulières pour en assurer la meilleure protection possible, la reconstitution ou, à défaut, le remplacement adéquat. Or les émissions lumineuses constituent elles aussi des atteintes d'ordre technique au sens de ces dispositions. Lorsque l'atteinte est admissible, ces émissions doivent être limitées dans le cadre de mesures de protection.

Selon l'art. 1, al. 1, let. a, de la **loi sur la chasse** (LChP ; RS 922.0), il convient de conserver la diversité des espèces et celle des biotopes des mammifères et oiseaux indigènes et migrateurs vivant à l'état sauvage. Afin de préserver cette faune sur le long terme, il faut prendre des mesures permettant d'éviter que celle-ci soit dérangée. Il s'agit avant tout de limiter si possible les dérangements causés par des émissions lumineuses liées aux activités touristiques, sportives ou autres dans les habitats des mammifères et oiseaux sauvages (art. 7, al. 4, LChP).

En vertu de l'art. 5 de la **loi sur la pêche** (LFSP ; RS 923.0), le Conseil fédéral désigne les espèces et les races de poissons et d'écrevisses qui sont menacées. Pour protéger les habitats de celles-ci, des mesures doivent notamment aussi être prises contre les immissions lumineuses.

A1.2.4 Aménagement du territoire et procédure d'autorisation de construire (loi sur l'aménagement du territoire [LAT])

La **loi fédérale sur l'aménagement du territoire** (LAT ; RS 700) exige notamment de la Confédération, des cantons et des communes qu'ils protègent les bases naturelles de la vie, telles que le paysage (art. 1, al. 2, let. a, LAT). Dans ce contexte, il convient de prendre en compte les principes régissant l'aménagement présentés à l'art. 3 LAT. Afin de préserver le paysage, notamment, ces derniers prescrivent de veiller à ce que les constructions et les installations s'intègrent dans le paysage, et de conserver les sites naturels et les territoires servant au délassement (art. 3, al. 2, let. b et d, LAT).

Dans le but de conserver les cours d'eau, les lacs et leurs rives, de même que les biotopes des animaux et des plantes dignes de protection, des **zones à protéger** doivent être délimitées (art. 17 LAT). Des mesures de protection contre les immissions lumineuses peuvent notamment être envisagées.

Les autorités chargées de l'aménagement sont tenues de prendre en compte les besoins de la population et de préserver autant que possible les **lieux d'habitation** des atteintes nuisibles ou incommodantes, qui peuvent également prendre la forme d'immissions lumineuses (art. 3, al. 3, let. b, LAT).

Dans le cadre des **procédures d'autorisation** au sens de l'art. 22 LAT (autorisation de construire en zone à bâtir) et 24 LAT (autorisation de constructions ou d'installations hors de la zone à bâtir), certaines installations d'éclairage peuvent être autorisées avec des charges et conditions consistant en des mesures de protection contre les immissions lumineuses ; elles peuvent également être refusées. À ce sujet, on se référera à l'arrêt principal du Tribunal fédéral concernant l'éclairage du sommet du Pilate (ATF 123 II 256, voir chap. 3.9), déjà mentionné au point A1.2.2.

Contrairement au droit de l'environnement, le droit fédéral de l'aménagement du territoire n'offre qu'un cadre législatif se limitant à des réglementations fondamentales. Les cantons disposent ainsi de larges compétences dans l'élaboration du droit, qui leur permet de tenir compte de leurs caractéristiques spécifiques. Il incombe donc en grande partie aux cantons de concrétiser les principes du droit fédéral et leur exécution, si bien que chacun d'entre eux détermine à sa manière quelle installation est soumise ou non à une autorisation.

A1.2.5 Autres dispositions du droit fédéral

La **loi sur l'énergie** (LEne ; RS 730.0) a notamment pour but de promouvoir l'utilisation économe et rationnelle de l'énergie (art. 1, al. 2b, LEne). Cela implique de consommer le moins possible d'énergie ou d'investir le moins possible d'énergie pour obtenir un résultat donné (rendement énergétique élevé, art. 3, al. 2, let. a et c, LEne). Des mesures ne peuvent être ordonnées que si elles sont réalisables du point de vue de la technique et de l'exploitation et qu'elles sont économiquement supportables ; les intérêts publics prépondérants doivent être préservés (art. 3, al. 4, LEne). Lorsque les spécifications en vigueur concernant l'éclairage sont respectées de la manière la plus stricte possible et que les surfaces concernées ne sont pas illuminées excessivement, cela correspond à une utilisation rationnelle de l'énergie comme mentionné plus haut et contribue simultanément à réduire les émissions lumineuses superflues.

Selon le **Code civil** suisse (CC ; RS 210), chaque propriétaire est tenu, dans l'exercice de son droit, de s'abstenir de tout excès au détriment de la propriété du voisin. Sont notamment interdits, dans ce contexte, les rayonnements qui ont un effet dommageable et qui excèdent les limites de la tolérance que se doivent les voisins d'après l'usage local, la situation et la nature des immeubles (art. 684, al. 1 et 2, CC). La protection de droit privé contre les immissions, issue des dispositions régissant les rapports de voisinage aux art. 679 et 684 CC, peut être invoquée indépendamment des mesures de limitation instituées par le droit de l'environnement. Pour évaluer ce qui constitue une atteinte excessive au sens de l'art. 684 CC, on se réfère toutefois aux critères correspondants de la loi sur la protection de l'environnement. Par ailleurs, la protection de droit privé contre les immissions ne connaît pas de limitation préventive des émissions au sens de l'art. 11, al. 2, LPE, et elle ne s'applique qu'aux installations se trouvant sur une autre parcelle. Les règles de la procédure civile sont déterminantes pour une éventuelle action dans ce domaine. La présente aide à l'exécution se limite au champ d'application du droit public de l'environnement.

A1.3 Réglementations cantonales et communales

La protection contre les immissions lumineuses est parfois aussi réglementée de manière contraignante au niveau cantonal ou communal. Dans certains cantons, elle est intégrée à la **loi cantonale d'application** de la législation fédérale sur la **protection de l'environnement** (LA LPE, LPE cantonale) et donc aux dispositions d'exécution correspondantes. Ces réglementations incluent d'une part des exigences d'ordre général pour la limitation des émissions lumineuses et introduisent d'autre part des autorisations obligatoires ou des interdictions pour certains éclairages (« skybeamers », par exemple).

On trouve également dans les **lois cantonales sur l'énergie** des exigences visant à réduire les émissions lumineuses. Quelques rares cantons ont en outre défini des principes d'aménagement allant dans ce sens dans le cadre de leur **planification directrice**.

Le **droit de la construction** varie d'un canton et d'une commune à l'autre, parce que le droit fédéral de l'aménagement du territoire fournit essentiellement un cadre législatif général (voir A1.2.4). La question de savoir quelles installations d'éclairage sont soumises à autorisation n'est donc pas réglée partout de la même manière. La catégorie la plus fréquemment soumise à autorisation est celle des éclairages publicitaires, souvent pour des motifs de sécurité du trafic routier (pas d'éblouissement ou de distraction). Les **publicités** sont toutefois aussi régulièrement mentionnées en raison de leurs conséquences pour l'environnement, si bien que l'on trouve des **réglementations** à leur sujet aussi bien au niveau cantonal que communal.

Au plan communal, les **règlements de construction et d'affectation** ou les plans de zones constituent également des instruments juridiques permettant de réglementer la protection contre les immissions lumineuses. Grâce à eux, on peut faire varier les modes d'utilisation et les dispositions concernant les émissions en fonction des zones concernées. Dans un plan de zones, une commune peut délimiter très concrètement les secteurs dans lesquels elle souhaite autoriser ou interdire une utilisation spécifique de la lumière.

Enfin, des **lois ou règlements communaux de police** contiennent également des prescriptions visant à éviter les émissions lumineuses.

A1.4 Normes et recommandations

Les normes sont des documents qui décrivent les caractéristiques et propriétés d'un produit, d'un processus ou d'un service. Elles définissent l'état de la technique et peuvent fixer des critères recommandés pour les caractéristiques, les procédures de contrôle ou la sécurité. Elles sont émises par des organisations de droit privé. Elles ont ainsi valeur de recommandation et leur respect n'est pas impératif. Les normes ne deviennent contraignantes au plan juridique que lorsqu'elles font l'objet de contrats entre parties, que le législateur y fait référence dans des actes législatifs (lois et ordonnances) ou que des autorités y renvoient dans leurs décisions (SNV 2013).

Le Tableau 10 présente les organisations suisses ou internationales responsables de la normalisation dans le domaine de la lumière et de l'éclairage. Chaque norme comporte avant son numéro une désignation alphanumérique qui montre d'où elle provient et à quel niveau (national, européen, mondial) elle est reconnue. Les normes suisses se reconnaissent à l'abréviation « SN », alors que celles qui ont été élaborées au niveau européen puis intégrées au jeu de normes helvétique sont notées « SN EN ».

Les diverses normes ne contiennent aucun critère permettant de décider si une rue ou une installation, par exemple, doit être éclairée. Une fois la décision prise, en revanche, elles fournissent des indications sur la quantité de lumière qui doit être disponible en un lieu donné pour que les activités prévues puissent se dérouler sans risque ni difficulté. Quelques normes fixent en outre des exigences pour la limitation des émissions lumineuses autour d'un dispositif d'éclairage. Celles-ci sont brièvement décrites ci-après.

Tableau 10 : Vue d'ensemble des compétences de normalisation dans le domaine de la lumière et de l'éclairage

	Normes concernant des produits (par ex. aspects sécuritaires, performance)	Normes pour des applications dans des situations spécifiques	Normes concernant les connaissances de base et les mesures
Monde entier	IEC TC 34	ISO TC 274 Light and lighting (CIE)	CIE
Europe (standard EN)	CENELEC TC 34	CEN TC 169 Light and lighting	(CEN TC 169)
Suisse	CES TK 34	SNV INB NK 199 Licht und Beleuchtung	SLG

Abréviations :

CEN :	*Comité européen de normalisation*
CENELEC :	*Comité européen de normalisation électrotechnique*
CES :	*Comité électrotechnique suisse*
CIE :	*Commission internationale de l'éclairage*
IEC :	*Commission électrotechnique internationale*
INB :	*Secteur interdisciplinaire de normalisation*
ISO :	*Organisation internationale de normalisation*
NK :	*Comité de normalisation*
SLG :	*Association suisse pour l'éclairage*
SNV :	*Association suisse de normalisation*
TC/TK :	*Comité technique*

A1.4.1 Norme internationale

CIE 150 « Guide on the Limitation of the Effects of Obtrusive Light from Outdoor Lighting Installations » (Guide pour la limitation des effets gênants des dispositifs d'éclairage extérieur)

Avec son « Guide pour la limitation des effets gênants des dispositifs d'éclairage extérieur » (CIE 150), la Commission internationale de l'éclairage entend contribuer à maintenir dans un cadre acceptable les effets de l'éclairage extérieur sur l'homme et l'environnement. Elle propose notamment des valeurs indicatives applicables à certains paramètres de l'éclairage pour limiter l'illumination des locaux et l'éblouissement incommodant. Elle définit aussi des valeurs indicatives pour réduire l'illumination du ciel.

L'éclairement vertical exprimé en lux constitue la grandeur mesurée pour déterminer l'illumination des locaux. On évalue les immissions totales provenant de toutes les installations d'éclairage des environs qui illuminent le local étudié. Pour apprécier l'effet incommodant, on se réfère à l'intensité des sources lumineuses exprimée en candelas. Toutes les valeurs se distinguent en fonction de la zone bâtie et de deux périodes de la journée (« pre-curfew »[14], « post-curfew »), sans mention d'heures spécifiques.

A1.4.2 Normes suisses

SIA 491 (SN 586 491) « Prévention des émissions inutiles de lumière à l'extérieur »

Intitulée « Prévention des émissions inutiles de lumière à l'extérieur », la norme 491 (SN 568 491) de la Société suisse des ingénieurs et des architectes (SIA) vise explicitement à garantir une utilisation parcimonieuse de la lumière dans l'environnement. Elle s'adresse en particulier aux architectes, aux aménagistes, aux maîtres d'ouvrages, aux propriétaires, aux exploitants et aux autorités d'exécution, qu'elle doit sensibiliser à sa thématique. La norme est conçue comme une ligne directrice portant sur

[14] Par « curfew » (= « couvre-feu »), on entend une « période de tranquillité » ou « période nocturne ». Durant cette période – pour laquelle les normes suisses portant sur l'éclairage des sites sportifs et des postes de travail à l'extérieur indiquent « après couvre-feu » – les valeurs indicatives appliquées sont plus strictes que le reste de la journée.

tout le déroulement de la planification, de la mise en place, de l'exploitation et du contrôle des éclairages extérieurs. À cette fin, elle recommande des mesures d'ordre général – tant au niveau technique que sur le plan de la planification – pour limiter les émissions lumineuses indésirables. En revanche, elle ne fournit pas de valeurs indicatives pour évaluer les immissions excessives.

SN EN 12193 « Éclairage des installations sportives »

La norme SN EN 12193 définit la manière dont les installations sportives doivent être éclairées, à l'intérieur comme à l'extérieur. Elle indique – pour l'éclairement, l'uniformité, la limitation de l'éblouissement et les propriétés des couleurs de la source de lumière – des valeurs qui peuvent servir de référence pour la planification et le contrôle des éclairages d'installations sportives. Dans son chapitre 5.10 « Lumière indésirable », la norme SN EN 12193:2008 propose aussi des valeurs indicatives pour la limitation de l'effet incommodant exercé sur les personnes et sur le voisinage. L'Association suisse pour l'éclairage (SLG) a publié plusieurs directives avec des compléments concernant l'éclairage de divers types de sport. La directive SLG 301 « Éclairage des installations sportives – Partie 1 : Principes, généralités » fournit aussi des indications pour la diminution des émissions lumineuses dans les alentours d'une installation d'éclairage.

SN EN 12464-2 « Éclairage des lieux de travail – Partie 2 : Lieux de travail extérieurs »

La norme SN EN 12464-2 indique comment éclairer divers lieux de travail extérieurs – tels que chantiers, stations-service, installations industrielles ou quais ferroviaires – pour obtenir de bonnes performances et un grand confort visuels. La section 4.5 de la norme SN EN 12464-2:2014 propose aussi des valeurs indicatives pour maintenir à un faible niveau les effets incommodants que les installations d'éclairage extérieures exercent sur leur environnement nocturne.

Pour les valeurs indicatives visant à limiter l'effet incommodant, les normes concernant l'éclairage des lieux de travail et des installations sportives se fondent toutes deux sur les exigences définies dans la norme CIE 150:2003. Ce ne sont toutefois pas les immissions totales qui sont prises en considération, mais celles produites par une installation donnée. L'éclairement vertical exprimé en lux constitue la grandeur mesurée pour déterminer l'illumination des locaux (voir Tableau 8, chap. 4.3.3). Pour apprécier l'effet incommodant, on se réfère à l'intensité des sources lumineuses exprimée en candelas. Les valeurs indicatives varient en fonction de la zone environnante concernée (zones sombres ou zones présentant une clarté faible, moyenne ou élevée). Des valeurs distinctes sont applicables en fonction des deux périodes définies (avant/après couvre-feu) mais aucune heure spécifique n'est mentionnée.

SN EN 13201 « Éclairage public » (SNR 13201-1 et SN EN 13201-2 à 13201-5)

La norme SN EN 13201, qui se compose de cinq parties (SNR 13201-1 et SN EN 13201-2 à 13201-5), explique comment éclairer les rues. À l'annexe A4 de sa partie 2, elle propose aussi des indications qualitatives sur la manière de réduire la lumière incommodante pour les riverains et les alentours. Depuis 2016, cette norme autorise une réduction de l'éclairage aux périodes à faible trafic, ce qui peut contribuer non seulement à économiser l'énergie, mais également à diminuer les émissions lumineuses (voir chap. 3.1). Dans une directive, la SLG a publié des compléments à la norme sur l'éclairage public (SLG 202).

A1.4.3 Normes et recommandations étrangères

LAI (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz) : « Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen » (Indications concernant la mesure, l'appréciation et la réduction des immissions lumineuses, 2012)

En Allemagne, les émissions et immissions lumineuses entrent dans le champ d'application de la *Bundes-Immissionsschutzgesetz* (BImSchG), une loi fédérale similaire à ce qu'est la loi sur la protection de l'environnement pour la Suisse. Dans un pays comme dans l'autre, le législateur n'a encore adopté aucune réglementation concrète pour les immissions de lumière artificielle. Afin de pouvoir apprécier ces immissions de manière uniforme du point de vue de leur nocivité au sens de la BImSchG

dans le cadre de l'exécution, la LAI (une communauté de travail sur la protection des immissions instituée par l'État fédéral et les länder) a publié pour la première fois en 1993 une Directive sur la mesure et l'évaluation des immissions lumineuses. En 2000, après de nombreuses mesures effectuées sur des installations d'éclairage, la directive a été entièrement révisée et rééditée sous la forme d'*Indications concernant la mesure, l'appréciation et la réduction des immissions lumineuses*, qui ont encore été adaptées en 2012. L'éclairage des rues n'est pas inclus dans ces recommandations (LAI 2012).

Pour l'illumination des locaux, les indications de la LAI font référence aux mêmes valeurs d'appréciation que la CIE (éclairement en lux). Ce ne sont toutefois pas les immissions totales qui sont évaluées, mais les immissions provoquées par une seule installation d'éclairage (voir Tableau 8, chap. 4.3.3). En ce qui concerne l'éblouissement incommodant, la LAI a retenu une approche différente de celle de la CIE : l'évaluation repose sur une comparaison entre la luminance de la source éblouissante, exprimée en candelas par mètre carré (cd/m^2), et la luminance moyenne la plus élevée qui soit admise. Cette dernière dépend de la luminance des alentours, ainsi que de l'angle sous lequel la source de lumière éblouissante est vue depuis le lieu d'immissions.

Les valeurs indicatives applicables à l'illumination des locaux et à l'éblouissement incommodant varient en fonction du type de zone bâtie concernée (site de villégiature, zone uniquement résidentielle, zone mixte, zone artisanale ou industrielle) et du moment de la journée (de 6 h à 22 h ou de 22 h à 6 h). Pour ce qui est du niveau des valeurs indicatives, la LAI a suivi les *Recommandations pour la mesure, l'appréciation et la réduction des immissions lumineuses de sources d'éclairage artificielles* (Empfehlungen für die Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen künstlicher Lichtquellen) de l'Association allemande de l'éclairage (Deutsche lichttechnische Gesellschaft ; LiTG 12.3 – 2011).

Dans une première annexe, la LAI fournit en outre des *Indications concernant les effets nuisibles des installations d'éclairage sur la faune – en particulier sur les oiseaux et les insectes* et soumet des *Propositions pour leur réduction*. Il s'agit concrètement de mesures d'aménagement et de mesures techniques (telles que guidage du flux de lumière, spectre des lampes utilisées, etc.).

Une deuxième annexe (état au 3 novembre 2015) contient des *Recommandations pour la détermination, l'appréciation et la réduction de l'effet d'éblouissement des installations photovoltaïques de grande envergure en terrain non bâti dans le cadre de procédures d'octroi de permis de construire*.

ÖNORM O 1052 « Lichtimmissionen – Messung und Beurteilung » (Immissions lumineuses : mesure et évaluation)

L'objectif de la norme autrichienne ÖNORM O 1052 est de définir des valeurs limites pour les effets sur l'homme et l'environnement de la lumière émise par des sources artificielles de différents types, ainsi que par des façades ou enseignes illuminées. Les conséquences de l'éclairage public sur l'environnement entrent aussi dans le champ d'application de cette norme.

L'éclairement vertical exprimé en lux constitue la grandeur mesurée pour déterminer l'illumination des locaux. On évalue les immissions totales provenant de toutes les installations d'éclairage des environs. Les valeurs indicatives varient en fonction du type de zone bâtie concernée (secteur bâti avec besoins de protection particuliers, zone résidentielle, zone mixte, zone centrale) et du moment de la journée (trois périodes : 6 h à 20 h, 20 h à 22 h, 22 h à 6 h). Les valeurs indicatives de la première période correspondent à celles de la norme CIE 150, alors que celles des deuxième et troisième périodes reprennent les valeurs de la LAI. Comme dans la norme de la LAI, l'éblouissement incommodant est apprécié à l'aide de la luminance mesurée en candelas par mètre carré.

La norme ÖNORM est par ailleurs la seule, parmi toutes les normes mentionnées ici, à introduire des exigences quantitatives pour limiter l'illumination des locaux par l'éclairage public, ainsi que pour restreindre l'illumination de la nature et de l'environnement.

A2 Conflits d'objectifs et synergies

De nos jours, la **société des 24 heures sur 24** s'est établie définitivement dans certaines parties du territoire urbain, mais aussi rural (ARE 2015). Cela induit immanquablement une augmentation des émissions lumineuses : l'éclairage des lieux de travail (immeubles administratifs, postes de travail à l'air libre, halls d'usines, par exemple) reste allumé jusqu'à tard dans la nuit, voire jusqu'au matin. Les magasins restent ouverts plus longtemps, les vitrines et les enseignes publicitaires brillent dans la nuit, et les quartiers animés nécessitent aussi un éclairage permanent. Le présent chapitre doit mettre en évidence divers conflits d'objectifs, mais aussi les synergies qui sont possibles lorsqu'on utilise la lumière dans plusieurs buts ou que l'on s'efforce de réduire les émissions lumineuses.

A2.1 Sport et tourisme

Soutenir le sport et les activités physiques de l'ensemble de la population : c'est le mandat que l'art. 68 de la Constitution fédérale (Cst. ; RS 101) et la **loi fédérale sur l'encouragement du sport et de l'activité physique** (RS 415.0) confient à la Confédération, qui doit le remplir en coopération avec les cantons, les communes et les associations sportives. Ce soutien doit accroître les capacités physiques de la population, promouvoir la santé, encourager le développement global de l'individu et renforcer la cohésion sociale. La pratique d'un sport ou d'une activité sportive nécessite des infrastructures appropriées, telles que salles de gymnastique, stades ou terrains de sport. Mais les surfaces comme les pistes de ski alpin ou de ski de fond ou les pistes finlandaises en milieux naturels sont aussi indispensables, puisque l'expérience de la nature fait partie des principaux motifs incitant la population à pratiquer du sport.

Les **besoins en espace liés au sport et aux activités physiques** peuvent toutefois mener à des conflits, notamment lorsqu'il s'agit de maintenir le trafic à un bas niveau, tout comme les immissions sonores ou lumineuses. À cause de leur éclairage artificiel, les installations sportives extérieures peuvent engendrer d'importantes immissions lumineuses dans leur environnement (voir Figure 20).Comme les surfaces disponibles se font rares et que les intérêts de protection et d'utilisation sont multiples, il s'avère de plus en plus difficile de mettre à disposition les espaces nécessaires à l'activité physique. Du point de vue de l'encouragement du sport comme dans la perspective d'une utilisation plus dense de l'espace bâti, les activités physiques ou sportives doivent être exercées le plus près possible des lieux où se trouve la population, soit dans les zones urbanisées et dans leurs alentours. Pour pallier le manque fréquent de possibilités d'entraînement, on équipe par exemple de nombreux terrains de football de gazon artificiel et d'un système d'éclairage, afin de pouvoir les utiliser plus intensivement et plus longtemps dans l'année (EBP 2016).

Figure 20 : Dans la perspective d'une utilisation plus dense du territoire, les nouvelles installations sportives sont construites si possible dans l'espace déjà bâti ou à proximité de celui-ci. De nouveaux bâtiments résidentiels sont aussi édifiés à côté de terrains de sport existants. Pour utiliser ces derniers de manière plus intensive et plus longtemps dans l'année, on les équipe souvent de gazon artificiel et d'un système d'éclairage, qui peut provoquer d'importantes immissions lumineuses dans le voisinage.

L'éclairage des infrastructures sportives peut aussi jouer un rôle **dans le domaine touristique**. Dans le tourisme hivernal, par exemple, on recherche de nouvelles niches afin de faire face au recul des nuitées et aux conséquences d'un enneigement de plus en plus incertain. Avec l'éclairage des pistes de ski alpin, de ski de fond ou de luge, les activités se prolongent après la tombée de la nuit, ce qui accroît les possibilités d'entraînement, étend l'offre destinée à la population active et constitue un attrait supplémentaire pour les visiteurs (Kostenzer 2013).

La mise en scène des bâtiments historiques ou des centres urbains constitue un autre moyen d'attirer du monde dans les régions touristiques et dans les villes. Lors de l'élaboration de **programmes d'éclairage urbain** (comme le Plan Lumière à Lucerne), on a constaté que les centres-villes étaient déjà tellement illuminés qu'il n'était plus possible de mettre en valeur des bâtiments ou des objets particuliers, et qu'il valait donc la peine, d'un point de vue esthétique, de réduire le niveau général d'éclairage (Ville de Lucerne 2006).

Ces dernières années, les programmes d'éclairage de ce type se sont multipliés, en particulier dans les grandes villes. Cette évolution a notamment été favorisée par de nouvelles possibilités techniques. Plutôt que d'illuminer l'ensemble d'un bâtiment avec des projecteurs, on utilise par exemple des procédés d'éclairage spéciaux qui permettent de le mettre en valeur de manière précise avec tous les effets et couleurs voulus. La précision de l'éclairage aide à réduire les émissions indésirables (voir 3.6). Les couleurs et les effets spéciaux peuvent toutefois aussi avoir l'effet inverse.

A2.2 Éclairages publicitaires

Dès le début du XXe siècle, la diffusion de la lumière électrique permet aussi l'emploi d'éclairages publicitaires durant la nuit. Les premiers logotypes sont composés d'alignements d'ampoules électriques. Le tube néon est développé en 1909. Il permet de former directement des signes ou des lettres complexes, et de les faire luire de différentes couleurs. Il est encore utilisé parfois comme éclairage publicitaire (Museum für Energiegeschichte(n) 2013). Dès les années 1960, des surfaces de plus grande taille sont rétroéclairées à l'aide de lampes fluorescentes. Outre les éclairages de vitrine, les inscriptions lumineuses et les enseignes éclairées ou autolumineuses qui promeuvent leur propre commerce, il faut également mentionner diverses formes de caissons lumineux ou panneaux autolumineux faisant de la publicité pour des tiers. Depuis un certain temps, des écrans de grande dimension avec des images animées sont aussi utilisés à des fins publicitaires dans les espaces extérieurs.

Ces dernières années, l'évolution technologique qui a mené aux LED a rendu possibles des clartés de plus en plus intenses pour une consommation électrique stable voire réduite. Selon une enquête demandée par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN), les publicités extérieures composées d'éclairages de vitrines ou de publicités lumineuses ont englouti 900 GWh en 2010. L'étude estime qu'il serait possible d'économiser environ 60 % de cette énergie en éteignant les équipements entre 0 heure et 6 heures et en passant à des lampes LED pour les éclairages de vitrines (S.A.F.E. 2014).

D'un côté, la présence de publicité dans l'espace public est désirée : les entreprises espèrent qu'elle leur amènera plus de clients ou de meilleures ventes, les villes et les communes en tirent des recettes et certains la considèrent comme le signe de la vitalité économique d'une région. La publicité doit donc être mise en valeur et pouvoir déployer ses effets de manière optimale. D'un autre côté, différents motifs font qu'il n'est pas désirable de voir les publicités extérieures proliférer de manière anarchique. Lorsque la publicité se noie dans la masse, elle ne peut plus atteindre son but. De plus, elle ne doit pas porter atteinte au paysage urbain ou nuire à la sécurité du trafic. Par ailleurs, la population se sent de plus en plus dérangée par les émissions lumineuses issues d'installations publicitaires. Celles-ci contribuent aussi à accroître la clarté des espaces extérieurs et la pollution lumineuse (Amt für Städtebau Zürich 2006, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin 2014).

A2.3 Sécurité

L'éclairage joue un rôle important pour diverses questions liées à la sécurité objective ou au sentiment de sécurité individuel. Dans ce contexte, la **capacité visuelle de l'homme** peut s'adapter à des environnements dont la clarté varie fortement. Les personnes peuvent ainsi éprouver des impressions sensorielles aussi bien en plein jour avec beaucoup de lumière que la nuit à faible luminosité. Pour cela, divers récepteurs entrent en jeu :

— À la **lumière du jour**, la vision se fait par l'intermédiaire des **cônes** de la rétine (vision photopique) : elle se caractérise par une grande netteté, une forte sensibilité aux contrastes et la capacité de distinguer les couleurs.

— Les **bâtonnets** sont responsables de la **vision nocturne** (vision scotopique), qui permet de percevoir les variations de clarté, mais pas de distinguer les couleurs.

— La **vision crépusculaire** (vision mésopique) se situe entre les deux formes précédentes. Les cônes y participent aussi bien que les bâtonnets, mais la perception des couleurs y est limitée.

Avec la vision photopique, durant la journée, l'œil est le plus sensible dans le domaine spectral jaune-vert (pour une longueur d'onde de 555 nanomètres [nm]), alors qu'avec les visions crépusculaire et nocturne, la sensibilité maximale se déplace vers le domaine bleu-vert (509 et 507 nm, respectivement). C'est pourquoi le bleu paraît plus clair au crépuscule, alors que le rouge est presque perçu comme du noir (Thews et al. 1991, CIE 191:2010).

L'**adaptation de la vue** d'un environnement clair à un environnement sombre (adaptation à l'obscurité) nécessite un temps relativement long (quelques minutes), alors que l'adaptation d'un environnement sombre à un environnement clair (adaptation à la lumière) se fait plus rapidement. Lorsqu'une forte lumière entre soudainement dans un œil adapté à l'obscurité, un effet d'éblouissement temporaire se manifeste. La sensibilité de l'œil s'adapte ensuite à cette nouvelle clarté en 15 à 60 secondes (Thews et al. 1991).

Ainsi, l'œil peut s'adapter à une vaste gamme de clartés, mais cela prend un certain temps, pendant lequel la vue est diminuée en conséquence. Dès lors, du point de vue de la sécurité, l'intensité de l'éclairage est en général moins déterminant que son uniformité, parce que cette dernière permet d'éviter au mieux les effets d'éblouissement et les adaptations.

Par ailleurs, une perception objectivement réduite est aussi ressentie subjectivement comme étant désagréable (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2015). En matière de sécurité, il faut donc aussi distinguer la sécurité objective du sentiment subjectif de sécurité.

L'éclairage fonctionnel relève du domaine de la **sécurité objective** : il doit permettre à l'homme d'exercer ses activités le plus sûrement possible même la nuit sans être confronté aux risques qu'induirait autrement la diminution de sa capacité visuelle.

Un éclairage fonctionnel et plutôt esthétique, qui crée une atmosphère agréable, n'est en revanche pas le seul paramètre influençant le **sentiment subjectif de sécurité**. D'autres facteurs, tels que le contrôle social, l'aménagement de l'espace ou les possibilités d'orientation, s'avèrent aussi déterminants.

A2.3.1 Sécurité au travail

Selon l'art. 35 de l'**ordonnance sur la prévention des accidents (OPA, RS 832.30)**, les locaux, les postes de travail, les passages ou couloirs à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments doivent être éclairés de telle sorte que la sécurité et la santé des travailleurs ne soient pas mises en danger. Pour l'éclairage des lieux de travail à l'extérieur, la Commission fédérale de coordination pour la sécurité au travail (CFST) renvoie, dans ses directives en ligne[15], à la norme SN EN 12464-2:2014 « Éclairage des lieux de travail – Partie 2 : Lieux de travail extérieurs ».

Cette norme indique comment éclairer divers lieux de travail extérieurs – tels que chantiers, stations-service, installations industrielles ou quais ferroviaires – pour obtenir de bonnes performances et un

[15] www.wegleitung.ekas.ch, section 1333.2 Éclairage du milieu de travail (consulté le 6 septembre 2016)

grand confort visuels. Le chapitre 4.5 de la norme SN EN 12464-2:2014 propose aussi des valeurs indicatives pour maintenir à un faible niveau les effets incommodants que les installations d'éclairage extérieures exercent sur leur environnement nocturne (voir A1.4.2 pour des explications complémentaires sur cette norme).

A2.3.2 Sécurité routière

À l'origine, l'éclairage des rues dans les villes et les grandes agglomérations a été introduit pour améliorer l'ordre public et accroître le sentiment de sécurité. Avec la hausse du taux de motorisation des usagers des transports, il est toutefois devenu un aspect central de la sécurité routière. Dans l'obscurité, en raison d'une capacité visuelle réduite, il est plus difficile de maîtriser la complexité des tâches liées à la circulation, de réagir aux différences de vitesse ou de percevoir les perturbations qui affectent le trafic. Lors d'accidents nocturnes typiques, outre l'obscurité, d'autres facteurs sont cependant aussi déterminants : vitesse plus élevée liée au trafic plus faible sur la route, nombre accru de trajets parcourus sous l'influence de l'alcool, fatigue générale ou comportement des usagers souvent moins conforme aux règles (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2015).

En matière d'émissions lumineuses, les principales sources sont constituées notamment d'éclairages routiers surdimensionnés qui ne guident pas la lumière comme le font les équipements modernes. Dans le cas particulier des zones situées dans le périmètre urbain des grandes agglomérations, les réverbères peuvent aussi induire des immissions trop importantes chez les riverains, parce qu'ils sont souvent situés à faible distance des maisons voisines (SLG 2016, Rechsteiner & Anderle 2015). En fonction de leur spectre lumineux, les réverbères attirent en outre les insectes nocturnes et peuvent constituer une barrière infranchissable pour eux s'ils sont distants de moins de 30 à 50 mètres l'un de l'autre, ce qui contribue à morceler leur habitat (OFEV 2012).

En matière de sécurité routière, l'expérience montre qu'il est important d'utiliser la quantité appropriée de lumière au bon endroit (Office des ponts et chaussées du canton de Berne 2015a). Il n'est pas indiqué de retenir une approche du type « beaucoup de lumière aide beaucoup », qui mène souvent à des résultats opposés au but visé. Ainsi, durant les trajets à la campagne, l'œil humain s'habitue à un environnement éclairé uniquement par les phares du véhicule. Si la personne au volant, lors de sa prochaine entrée dans une localité, est confrontée à un éclairage public beaucoup trop intense, elle s'en trouvera éblouie et devra en outre rouler quelques secondes à l'aveugle lorsqu'elle quittera à nouveau la zone éclairée (Office des ponts et chaussées du canton de Berne 2015b). Pour utiliser l'intensité lumineuse appropriée au bon endroit, il faut recourir à un plan d'ensemble réfléchi plutôt qu'à des solutions ponctuelles.

Expériences faites à Berlin en matière de sécurité routière et d'éclairage public

Bien que l'importance de l'éclairage pour la sécurité routière soit bien connue, il n'existe que de rares études sur les liens qui unissent effectivement la sécurité routière au niveau de lumière disponible. Dans l'optique de la mise en place d'un programme complet d'éclairage, la ville de Berlin a donc fait étudier, pour les années 2006 à 2008, les accidents qui se sont produits à la lumière du jour, au crépuscule et durant la nuit (FGS 2010).

Les analyses menées à Berlin n'ont établi aucune relation significative entre l'intensité de l'éclairage et les accidents ayant causé des dommages aux personnes. Les rues présentant un niveau d'éclairage relativement faible comptaient un nombre d'accidents similaire aux routes très fortement éclairées. Cependant, les piétons étaient particulièrement souvent victimes d'accidents dans l'obscurité, notamment aux carrefours et aux débouchés de rue. Les piétons sont en effet les seuls usagers des transports qui ne portent pas leur propre lumière avec eux. Simultanément, les conséquences d'un accident sont souvent plus graves pour eux que pour les autres usagers, parce rien ne les protège (FGS 2010).

Comme l'obscurité ne favorise pas en soi les accidents, l'étude berlinoise arrive à la conclusion qu'il n'est pas correct, du point de vue de la sécurité routière, de partir de l'idée que « beaucoup de lumière aide beaucoup » lors de la planification de l'éclairage. Il faut au contraire recourir à l'éclairage en se

fondant sur les problèmes existants. Pour les voies de circulation et les espaces latéraux, on considère qu'un éclairage de base permettant de s'orienter est suffisant, puisque l'uniformité de l'éclairage s'avère finalement plus importante que la quantité de lumière (FGS 2010). La ville de Berlin a donc aussi élaboré ses propres exigences pour l'éclairage des rues. Celles-ci sont nettement moins élevées (et parfois même deux fois plus basses) que celles de la norme européenne sur l'éclairage public pour ce qui est de la valeur d'éclairement. Elles restent en revanche tout aussi sévères en ce qui concerne l'uniformité de la luminance (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2015).

Une utilisation de la lumière renforcée ponctuellement est judicieuse dans les secteurs critiques et aux points conflictuels, notamment aux passages piétons. Le recours à un éclairage bien dirigé doit y garantir que le contraste soit suffisant entre les personnes au bord de la chaussée et leur arrière-plan (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2015).

Exigences pour l'éclairage des routes et des passages piétons

Lorsque l'autorité compétente a décidé qu'il faut éclairer un tronçon de rue, il est usuel en Suisse de s'en tenir à l'ensemble de normes SN EN 13201 « Éclairage public », qui se divise en cinq parties (SNR 13201-1 et SN EN 13201-2 à 13201-5). À l'annexe A4 de la partie 2, cette norme propose aussi des indications qualitatives sur la manière de réduire la lumière incommodante pour les riverains et les alentours. Dans une directive, l'Association suisse pour l'éclairage (SLG) a publié des compléments à la norme sur l'éclairage public (SLG 202). Dans sa section 2.3, ce document fournit aussi explicitement des indications concernant l'éclairage des passages piétons[16] (pour des informations complémentaires, voir chap. 3.1).

A2.3.3 Sécurité du point de vue de la criminalité

Jusqu'au XVIIe siècle, avant que l'éclairage public devienne la norme dans les villes européennes en raison de l'industrialisation, des interdictions assuraient l'ordre la nuit en zone urbaine. Les portes de la cité et des bâtiments étaient fermées le soir, les inconnus chassés de la ville. Quiconque quittait sa maison après le crépuscule devait emporter une bougie ou une lanterne, car une personne sans lumière, qui se dérobait à la vue des gardiens de nuit, se rendait suspecte et devait craindre des sanctions (Schulte-Römer 2013).

Quand il s'agit de criminalité, on associe aussi la lumière à la sécurité et l'obscurité à l'insécurité. Les opinions divergent toutefois quant à savoir dans quelle mesure l'intensité de la lumière contribue effectivement à réduire le nombre de délits tels qu'attaques à main armée, vols à l'arraché, lésions corporelles ou cambriolages (Fussverkehr Schweiz 2015).

Il n'y a encore aucune étude qui établisse un lien univoque entre le niveau d'intensité lumineuse et le nombre de délits. Il semble que les interactions soient trop complexes entre les divers facteurs qui permettent ou empêchent finalement une infraction. **Même la lumière, en fonction de la situation, peut avoir un effet plutôt dissuasif ou plutôt incitatif.** Un éclairage suffisant est par exemple indispensable au criminel pour reconnaître si une personne – à voir la valeur de ses habits, son âge ou son sexe – pourrait constituer une victime appropriée. De même, un voleur peinera à distinguer dans la nuit s'il vaut la peine de forcer un véhicule, et il attirerait l'attention s'il rôdait autour des voitures pour en éclairer l'intérieur à l'aide d'une lampe de poche. Sur un parking généreusement éclairé, en revanche, un cambrioleur potentiel peut longer discrètement les véhicules pour y repérer un futur butin (EBP 2016).

Dans le cas des maisons et des appartements, les cambrioleurs souhaitent aussi ne pas être vus et rencontrer le moins de monde possible. Ils entrent par effraction lorsqu'ils partent de l'idée que personne ne se trouve dans les locaux visés. Dans les immeubles administratifs, les cambriolages se font donc principalement la nuit, lorsqu'ils sont vides. La grande majorité des vols dans les logements privés sont par contre effectués durant la journée ou en début de soirée, parce que la plupart des personnes, occupées par leur travail ou d'autres activités, ne sont alors pas à la maison (PSC 2014).

[16] La norme SN 640 241:2016 « Traversées à l'usage des piétons et des deux roues légers ; Passages piétons » de l'Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS), qui réglemente les exigences auxquelles doivent répondre les passages piétons, renvoie elle aussi, pour l'éclairage, à la directive SLG 202:2016.

Bien que la plupart des **cambriolages de logements privés** se fassent de jour, l'éclairage joue un rôle important dans la prévention des délits de ce type. En automne et en hiver, en particulier, les effractions se multiplient au crépuscule. En début de soirée, les voleurs potentiels qui rôdent autour des maisons ne se font guère remarquer, parce que beaucoup d'autres personnes se déplacent encore à cette heure-là, contrairement à ce qui est le cas la nuit. Cependant, comme il fait déjà sombre, il est difficile de reconnaître leurs caractéristiques physiques. À l'inverse, il est plus facile pour eux de savoir s'il y a quelqu'un dans un logement : il leur suffit de regarder s'il y a de la lumière (EBP 2016, voir également chap. 3.8.5).

En matière d'éclairage, un autre aspect déterminant pour les délits est le **contraste entre clarté et obscurité**. Si les contrastes de ce type sont marqués, les délinquants peuvent se cacher dans des secteurs sombres et observer leurs victimes potentielles sans être reconnus. En effet, les personnes qui se trouvent dans une zone fortement illuminée – un peu comme sous les projecteurs d'une scène – ne peuvent rien percevoir dans les zones obscures, parce que leurs yeux se sont adaptés à une forte lumière.Par ailleurs, là où de grandes différences de clarté créent des possibilités de fuite pour les délinquants potentiels, qui peuvent emprunter une rue latérale sombre, par exemple, le risque augmente aussi pour d'autres délits, tels que vandalisme ou vols par effraction.

Parce que l'adaptation de l'œil prend un certain temps, les contrastes de clarté prolongent aussi les temps de réaction, ce qui a un effet négatif sur le travail de la police. Pour cette dernière, un **éclairage le plus uniforme possible** constitue donc un avantage. Par ailleurs, le niveau de lumière devrait être suffisamment élevé pour que les expressions et caractéristiques du visage puissent être reconnues. En divers endroits, notamment dans certaines zones de Berne ou de Berlin, la réglementation exige qu'on puisse reconnaître un visage à une distance de 4 m (Ville de Berne 2009, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2015).

À côté de son uniformité et de son intensité, le **rendu des couleurs** de l'éclairage joue aussi un rôle important au moment d'élucider des délits. Plus sa qualité augmente, plus les déclarations des témoins peuvent être précises (EBP 2016). Le rendu des couleurs dépend essentiellement de la technologie utilisée pour produire la lumière (lampe à incandescence, lampe fluorescente compacte, diode électroluminescente, etc.), ou autrement dit du spectre de la lumière produite. Les lampes à vapeur de sodium, qui n'émettent pratiquement que de la lumière se situant dans la gamme jaune-rouge, présentent par exemple un rendu des couleurs nettement moins bon que les diodes électroluminescentes (LED), qui produisent une lumière couvrant un spectre bien plus important[17] (voir également A2.3.4).

En fonction du **spectre de lumière** utilisé, des **conflits d'objectifs** peuvent survenir avec la population ou la protection de la nature. En effet, la lumière comportant une proportion élevée de bleu exerce une influence biologique particulièrement prononcée et peut fortement attirer les insectes (voir A3.3.2.6) ou perturber le rythme circadien des organismes vivants (voir A3.1.5). Si l'on veille, lors du choix de la lampe, à ce que la lumière produite présente la plus faible proportion possible de bleu, il est possible de réduire les conséquences négatives pour l'environnement. Selon de premières études, les lampes LED de couleur blanc chaud, en particulier, semblent attirer moins fortement les insectes que d'autres lampes et procurent simultanément un bon rendu des couleurs – si bien qu'il est aussi possible de dégager des **synergies** entre les aspects de sécurité et les questions de protection.

A2.3.4 Sentiment subjectif de sécurité

Si la lumière et l'obscurité exercent une influence sur la sécurité objective, ils modifient également le sentiment subjectif de sécurité. Dans ce domaine, les **différences** sont toutefois importantes au sein de la **population**, en fonction de l'âge et du sexe des personnes concernées. Alors que les jeunes ressentent parfois le besoin de se rencontrer dans des lieux sombres, les personnes plus âgées tendent plutôt à éviter l'obscurité. Les femmes également se sentent moins en sécurité que les hommes dans certains lieux de l'espace public lorsqu'il fait sombre. Par ailleurs, en matière de mobilité, les personnes souffrant de certaines limitations physiques présentent des besoins d'éclairage spécifiques (EBP 2016).

[17] Le rendu des couleurs varie cependant aussi pour une seule et même technologie d'éclairage (LED, par exemple). À des fins de classification, on utilise l'indice de rendu de couleur R_a.

Selon des études, l'obscurité détermine en grande partie si un **espace public suscite de l'inquiétude** ou non. Parmi les espaces qui génèrent typiquement de l'angoisse, on peut citer les tunnels et les passages souterrains, les parkings couverts, les parcs, les rues désertes, les places et les arrêts de transports publics. Bien que les statistiques de la criminalité montrent que ces espaces sont rarement le théâtre de délits, cette problématique doit être prise au sérieux : elle incite certaines personnes à accepter de faire des détours, à éviter certains lieux, à s'abstenir de se déplacer à pied ou d'emprunter les transports publics ou à ne plus sortir seules (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2015).

Les exemples d'espaces suscitant de l'inquiétude font référence à la perception de la lumière ou de l'obscurité en lien avec le sentiment de sécurité dans l'espace urbain. Dans **l'espace rural**, cette perception peut être différente, comme l'a montré une étude du Programme national de recherche PNR 48 « Paysages et habitats de l'arc alpin »[18]. Alors qu'en ville, selon l'étude, l'éclairage a fait que l'on a perçu les espaces (urbains) comme sûrs, les villageois, en revanche, ne se sentaient pas menacés par l'obscurité et n'exprimaient pas le besoin de bénéficier d'un éclairage plus important dans la localité : « Dans les endroits que l'on connaît, on se sent en sécurité qu'il y ait beaucoup ou peu de lumière. [...] La nuit et l'obscurité, dans un village, sont donc considérées comme quelque chose qu'il faut respecter. » (Hungerbühler & Morici 2006, p. 178)

À lui seul, l'éclairage n'augmente donc pas le sentiment de sécurité, qui dépend aussi d'autres facteurs. Dans ce contexte, le **contrôle social** est primordial. Les gens ne se sentent davantage en sécurité qu'à partir du moment où ils ont l'impression qu'on les verrait s'ils se trouvaient en situation critique et donc que – théoriquement du moins – ils obtiendraient aussi de l'aide (EBP 2016).

La possibilité de **bien s'orienter** constitue un autre facteur important contribuant à un sentiment de sécurité positif. L'éclairage et l'aménagement de l'espace devraient permettre de bien identifier les itinéraires, les points d'accès et les possibilités de fuite (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2015).

L'orientation est plus facile lorsque l'**éclairage se fait de manière uniforme** afin d'éviter les zones obscures et les éblouissements. Si les contrastes sont marqués, les espaces peu ou pas éclairés paraissent en outre beaucoup plus sombres. Devant des vitrines très lumineuses, les passants peuvent par exemple avoir l'impression que la rue est sombre, alors qu'elle serait en fait suffisamment éclairée. Lors de la planification de l'éclairage, il faut donc intégrer les sources indirectes existantes, comme l'éclairage des places et rues attenantes, l'illumination des vitrines ainsi que d'autres éclairages intérieurs émettant vers l'extérieur (EBP 2016).

Afin de permettre une bonne orientation et un éclairage uniforme, il peut être souhaitable, dans les zones piétonnes et zones de rencontre à l'intérieur des villes, d'éclairer modérément les façades des bâtiments situés le long des rues et des chemins. En effet, lorsque les façades restent sombres, le contraste de lumière peut produire un « **effet de tunnel ou de caverne** », que les gens présents dans la rue perçoivent négativement. Il y a donc là un conflit d'objectif avec les efforts visant à diriger la lumière le plus précisément possible vers les surfaces à éclairer (rues et trottoirs), et non dans les logements qui les bordent. Il existe toutefois de nos jours des solutions techniques qui permettent d'illuminer un espace différemment en fonction du moment de la journée et d'éteindre à partir d'une certaine heure la lumière dirigée vers les façades (voir 3.5).

La **couleur de la lumière (température de couleur)** peut également contribuer à ce que les gens se sentent bien en un lieu public. La nuit, lorsque l'intensité lumineuse est réduite, une lumière de couleur blanc chaud, telle que celle produite par les ampoules à incandescence classiques, est perçue par de nombreuses personnes comme étant plus agréable qu'une lumière de couleur blanc froid typique des tubes fluorescents. Et là où on se sent bien, on se sent aussi en sécurité (EBP 2016).

La mise en évidence de monuments ou de bâtiments particulièrement importants pour une ville et pouvant servir de **points de repère** crée aussi un sentiment d'appartenance et d'identité. Cela peut contribuer à réduire le vandalisme et l'abandon de déchets dans les espaces publics, ce qui exerce à son tour un effet positif sur le sentiment de sécurité (EBP 2016).

[18] Dans le cadre du projet « FIAT LUX ! The Making of Night Landscapes in the Alpine Area », des enquêtes ont été menées au Tessin à ce sujet : en ville, à Lugano, d'une part, et dans l'espace rural, à Verscio, d'autre part.

Exemple pratique : prise en compte et réduction des éclairages de vitrines existants

Lors de l'élaboration d'un programme d'éclairage pour la ville de Lucerne (le Plan Lumière), une des premières étapes a consisté à analyser l'éclairage existant. Ce recensement a notamment montré que la forte lumière des vitrines des magasins envahissait les rues et places de la ville historique. Les contrastes prononcés qui en résultaient empêchaient en grande partie de percevoir les alentours. Afin de réduire la clarté des vitrines et d'obtenir ainsi un éclairage plus uniforme, la ville de Lucerne a fixé dans son règlement sur la lumière artificielle des valeurs limites concrètes pour la luminance et l'éclairement moyens des vitrines, publicités lumineuses et enseignes sur toiture (Ville de Lucerne 2008).

A2.4 Les diodes électroluminescentes (LED) dans l'éclairage extérieur

Avec l'introduction des diodes électroluminescentes (LED), un bouleversement profond a débuté dans le domaine de la technique d'éclairage. Le **développement des diodes électroluminescentes** remonte aux années 1960. Les petites LED rouges, utilisées par exemple pour indiquer le statut d'un appareil électronique, ont été les premières à apparaître sur le marché. Grâce à un perfectionnement technique mené sur plusieurs décennies, on est parvenu à produire également d'autres couleurs : du jaune tout d'abord, puis du vert et, dans les années 1990, du bleu. En mélangeant les couleurs fondamentales rouge, vert et bleu, il était dès lors possible de produire des LED blanches. L'intensité lumineuse restait toutefois restreinte et la qualité n'était pas très bonne, au début, parce que de nombreux tons de couleur intermédiaires manquaient encore dans le spectre de ces LED mixtes, (SuisseÉnergie 2015).

Afin d'obtenir de la lumière blanche présentant un spectre continu, on s'est donc mis à recouvrir une puce LED bleue d'une très mince couche luminescente de phosphore. Grâce à cette substance jaune, une grande partie de la lumière bleue est transformée en blanc. La température de couleur – d'un blanc froid à un blanc chaud en passant par un blanc neutre – peut être définie en adaptant l'épaisseur de la couche de phosphore. Depuis quelques années, les LED sont aussi davantage employées dans l'éclairage public. Or si elles sont utilisées de manière appropriée, elles présentent certains avantages par rapport aux lampes conventionnelles en ce qui concerne la réduction des conséquences indésirables des émissions lumineuses pour l'homme et l'environnement.

Les lampes LED peuvent fortement contribuer à diminuer les émissions lumineuses, parce qu'elles permettent de **mieux diriger la lumière** que par le passé, vu que celle-ci est produite par de petites diodes. Pour l'éclairage des rues, en particulier, cela permet de réduire les immissions dans les alentours (voir Figure 21). Pour l'éclairage des terrains de sport, en revanche, ce sont moins les lampes elles-mêmes (LED ou lampe conventionnelle) que le type de projecteur (distribution symétrique ou asymétrique du rayonnement) qui déterminent les immissions induites dans l'environnement. Le recours à des projecteurs asymétriques permet de mieux restreindre la lumière aux surfaces qui doivent être éclairées (voir chap.3.3).

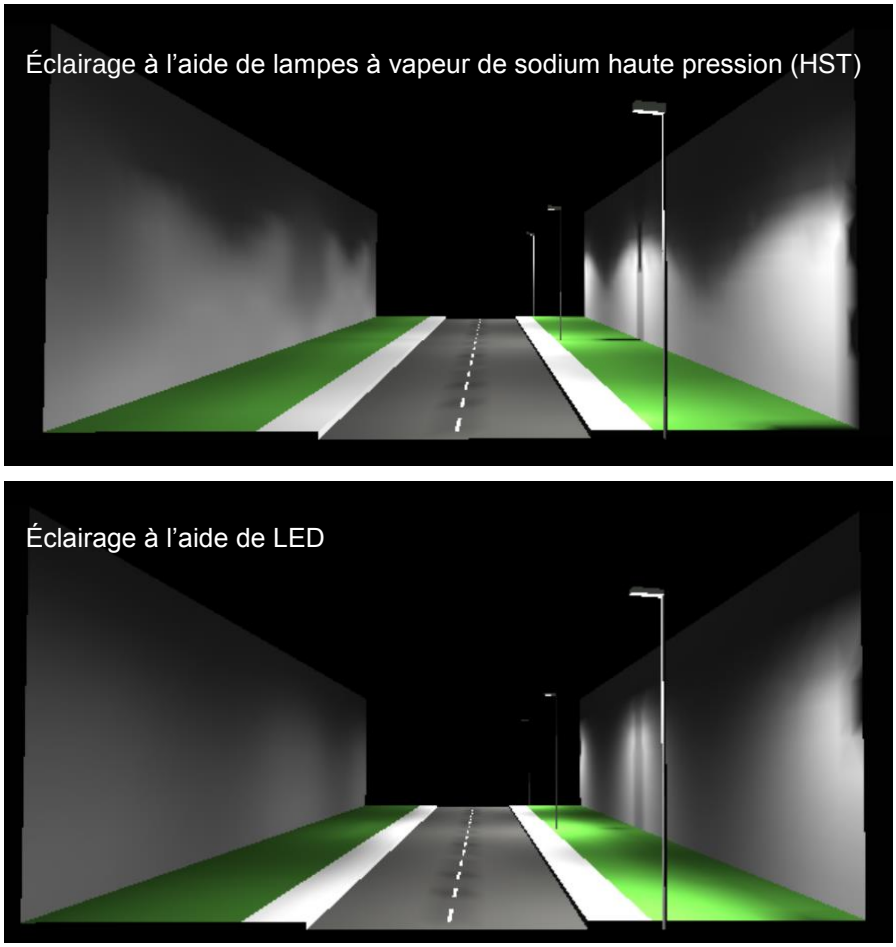


Figure 21 : Exemple de calcul pour une rue éclairée avec des lampes à vapeur de sodium haute pression (HST, 100 watts [W], en haut) ou avec des LED (78 W, en bas). L'éclairement horizontal moyen sur la chaussée avoisine dans les deux cas 15 lux (HST : 14,5 lux ; LED : 15,4 lux), mais l'éclairage aux LED émet moins de lumière vers les façades environnantes. L'éclairement vertical maximal sur la façade de gauche se monte à 1,2 lux pour les LED, soit moins de la moitié des 2,9 lux mesurés avec les lampes HST. Dans le cas de la façade de droite, cette valeur atteint 6,2 lux avec les LED, soit 58 % des 10,7 lux correspondant aux lampes HST (SLG 2016).

Comme les diodes électroluminescentes produisent une lumière concentrée et clairement orientée, un **risque d'éblouissement** existe lorsqu'il est possible de regarder directement dans une lampe dont l'optique ou le guidage de la lumière n'ont pas été bien conçus. Les problèmes d'éblouissement des usagers des transports et des piétons sur la route et sur les trottoirs ne font pas partie du droit de l'environnement auquel se réfère la présente aide à l'exécution (ce qui veut dire que les valeurs indicatives mentionnées sous chap. 4.4 pour l'évaluation de l'éblouissement incommodant ne s'appliquent pas). Pour la sécurité du trafic, les questions d'éblouissement doivent cependant impérativement être prises en compte lors de la conception ou du réaménagement des éclairages publics.

Un autre avantage de lampes LED est qu'il est possible de **faire varier leur puissance de manière continue**, si bien que l'intensité de leur lumière peut être mieux ajustée qu'avec d'autres lampes. L'éclairage peut ainsi être réglé précisément au niveau prévu par les normes, sans pour autant dépasser les exigences de celles-ci. Les LED offrent en outre la possibilité de maintenir constant le flux de lumière sur l'ensemble de la durée de vie de la lampe (**technologie CLO** : « constant light output »). Il n'est donc notamment plus nécessaire de surdimensionner les éclairages publics, comme on le faisait avec des technologies plus anciennes afin de garantir que la rue serait encore éclairée conformément à la norme à la fin de la durée de vie des lampes (SLG 2016).

Si, grâce à un variateur et à la technologie CLO, par exemple, on utilise précisément la quantité de lumière nécessaire pour l'éclairage, on réduit non seulement les émissions lumineuses, mais aussi

l'énergie consommée. Par rapport à d'autres lampes, les diodes électroluminescentes présentent déjà une **efficacité énergétique** plutôt élevée. Il faut toutefois veiller à ce que cette efficacité n'incite pas à étendre encore l'éclairage ou à recourir à une multitude de nouvelles formes d'illumination (mise en scène de certains arbres, plantes, etc. dans des jardins ou des parcs, façades lumineuses, etc.), ce qui irait à l'encontre du principe de réduction des émissions. Cet effet – qui consiste en une augmentation de la demande consécutive à une hausse de l'efficacité – est appelé « **effet rebond** » (SuisseÉnergie 2015).

La **composition spectrale** de la lumière blanche des LED induit encore d'autres possibilités – et aussi d'autres risques. En raison de la manière dont les LED produisent leur lumière, les composantes ultraviolette et infrarouge de celle-ci sont presque inexistantes. En revanche, leur lumière contient presque toutes les couleurs du spectre visible : cela permet en principe un **bon rendu des couleurs**, qui facilite la vision. En fonction de la température de couleur, les différentes composantes du spectre des LED peuvent toutefois fortement varier (voir Figure 22).

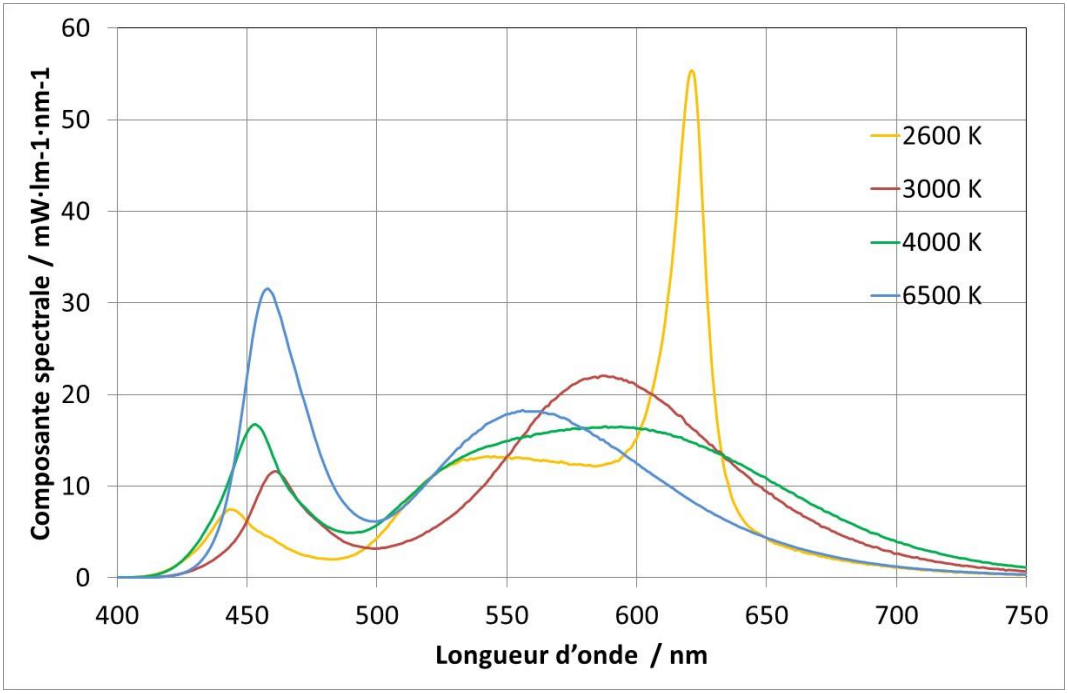


Figure 22 : Spectres lumineux de LED blanches typiques présentant différentes températures de couleur ; ces diodes produisent une lumière blanche en convertissant la lumière bleue à l'aide de phosphore. Alors que le spectre de la LED à lumière blanc froid (6500 kelvins [K]) se distingue par un pic dans le domaine de longueur d'onde du bleu (à environ 460 nm), la composante bleue est déjà nettement moins importante pour la LED blanc neutre (4000 K). Quant au spectre des LED blanc chaud, il peut aussi encore contenir une composante bleue (3000 K, par exemple). La composante bleue est la plus faible pour la LED blanc chaud d'une température de couleur de 2600 K. Les spectres lumineux représentés dans la figure ont été normés au plan photométrique, si bien qu'ils se réfèrent au même flux lumineux en lumens (mesures et graphique : METAS).

Le spectre lumineux des **LED blanc neutre ou blanc froid** présente un **pic prononcé dans le domaine de longueur d'onde du bleu** (420 à 490 nm). Par rapport à la vision diurne, la sensibilité de l'œil humain se décale en direction du bleu avec la vision crépusculaire ou nocturne. Par conséquent, pour un éclairement lumineux identique, la lumière blanc froid ou blanc neutre paraît plus claire que la lumière blanc chaud. Cela permettrait donc plutôt d'abaisser l'intensité des lumières blanc froid ou blanc neutre, puisqu'une meilleure vision reste possible en conditions crépusculaires malgré la plus faible intensité. En Angleterre, par exemple, l'intensité de l'éclairage urbain peut être réduite si l'on recourt à une lumière blanc froid (BS 5489-1:2013). Et la ville de Berlin prescrit des valeurs d'éclairement plus basses pour les lampes émettant de la lumière blanc neutre ou blanc froid (lampes aux halogénures métalliques ou tubes fluorescents) que pour les lampes à vapeur de sodium, dont la lumière est blanc chaud ou jaune-orange.

D'un autre côté, les astronomes craignent que la **clarté du ciel nocturne** augmente nettement si l'on remplace à grande échelle les luminaires actuels – qui utilisent en bonne partie des lampes à vapeur de sodium émettant une lumière blanc chaud ou jaune-orange d'une température de couleur d'environ 2000 K – par des lampes à LED blanc neutre d'une température de 4000 K. En effet, si la lumière dont le spectre contient plus de bleu apparaît plus claire à l'œil humain pour une même intensité, les composantes bleues à ondes courtes sont aussi davantage diffusées dans l'atmosphère que les composantes rouges à ondes longues et contribuent ainsi davantage à l'illumination du ciel nocturne. Dans l'ensemble, les astronomes partent de l'idée que la clarté du ciel nocturne pourrait doubler en Suisse si les lampes étaient modifiées à grande échelle pour émettre une lumière dont la température de couleur serait de 4000 K et que la valeur d'éclairement restait identique (Falchi et al. 2016).

Dans la pratique, les lampes LED utilisées dans les centres-villes, les zones piétonnes, les quartiers et les rues résidentielles émettent la plupart du temps une lumière blanc chaud d'une température de couleur de 3000 K, alors que l'éclairage fonctionnel des routes est plutôt blanc neutre (4000 K). Les lampes dont la température de couleur est de 5000 K ou plus ne sont que rarement utilisées (Humm 2015).

Au plan énergétique, les lampes à LED blanc chaud restent un peu moins efficaces que les lampes à LED blanc froid ou blanc neutre : les diodes à 3000 K sont environ 10 à 20 % moins efficaces que les diodes à 4000 K (indications des fabriquants). Ces dernières années, cette différence d'efficacité énergétique a nettement diminué. Il demeure cependant un certain **conflit d'objectif** entre les efforts d'économie d'énergie, d'une part, et l'emploi de lumière blanc chaud pour réduire les effets biologiques et tenir compte de la sensibilité de la population, d'autre part. En effet, une composante bleue importante attire fortement les insectes (voir A3.3.2.6) ou peut influencer le rythme circadien des organismes vivants (voir A3.1.5).

Enfin, il faut aussi tenir compte de **l'élimination et du recyclage des lampes LED**. En vertu de l'ordonnance sur la restitution, la reprise et l'élimination des appareils électriques et électroniques (OREA ; RS 814.620), les consommateurs sont tenus de rapporter les lampes LED usagées à un point de vente ou à un point de collecte publique. Les fabricants et les importateurs sont tenus de reprendre gratuitement les lampes LED défectueuses ou usagées de leurs propres marques. Les lampes usagées seront traitées dans des installations de valorisation pour les déchets électroniques correspondantes. Les coûts de l'élimination sont couverts au moyen d'une contribution de recyclage anticipée volontaire.

A2.5 L'efficacité énergétique grâce à une commande intelligente de l'éclairage public

Lorsqu'on réduit les émissions lumineuses superflues en n'éclairant que ce qui doit l'être, cela permet de diminuer la consommation d'électricité. Éviter les émissions inutiles contribue donc à une utilisation économe et rationnelle de l'énergie, comme l'exige l'art. 1, al. 2, let. b, de la loi sur l'énergie (RS 730.0) (EBP 2016).

En 2015, l'éclairage public des rues et des places en Suisse a consommé quelque 425 gWh d'électricité (OFEN 2016). Plus de la moitié de cette quantité pourrait être économisée si on utilisait des lampes plus efficaces telles que les LED et que l'on baissait la consommation en fonction des besoins effectifs ou qu'on la gérait mieux à l'aide de détecteurs de mouvement.

L'avantage essentiel de la technologie LED pour l'éclairage public, par rapport aux autres types de lampes, ne réside pas principalement dans sa plus grande efficacité énergétique de base – un réverbère LED ne consomme actuellement que 30 à 40 % d'électricité en moins qu'une bonne lampe à vapeur de sodium (voir Figure 23). Le grand avantage de cette technologie tient au fait que les LED s'allument sans délai et que leur luminosité peut être modulée de manière continue et donc être parfaitement adaptée aux besoins effectifs. Ainsi, il est désormais possible, en combinant des LED à des systèmes de commande intelligents, de piloter des éclairages publics à lumière intense de manière à répondre aux besoins et de proposer de la « lumière à la demande » sous différentes formes (voir chap. 3.1).

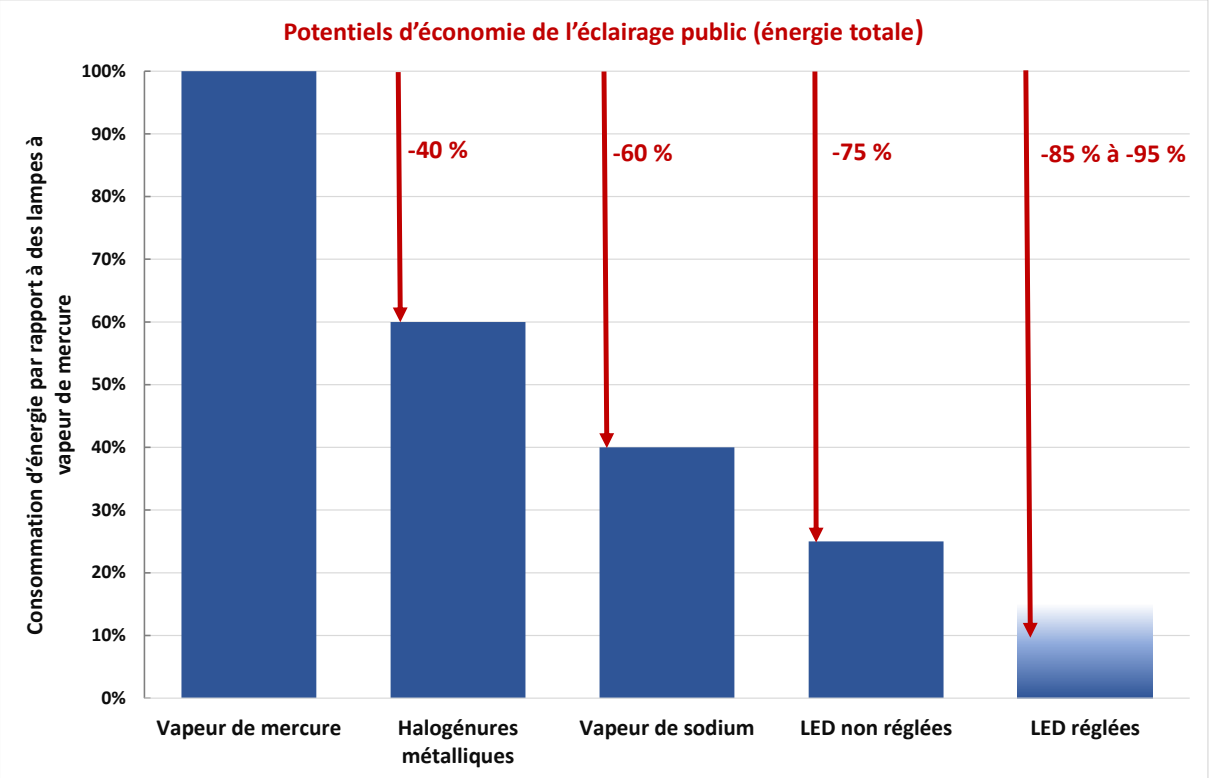


Figure 23 : Consommation d'énergie et potentiel d'économie correspondant de diverses lampes utilisées pour l'éclairage public, par rapport aux anciennes lampes à vapeur de mercure. La consommation électrique fait référence à l'énergie totale (en W) dont les lampes ont besoin pour produire un même éclairement de la route. Avec des LED régulées, le potentiel d'économie dépend de la commande effective (source : Haller/EKZ 2017).

En bien des endroits, on est en train de remplacer les équipements d'éclairage public. Opter pour des lampes LED à commande intelligente permet d'économiser beaucoup d'énergie. Et si la planification et le montage des lampes se font correctement, les émissions lumineuses dans les alentours pourront aussi être réduites.

Exemple pratique : économies d'énergie grâce à de la lumière adaptée aux besoins sur les routes cantonales bernoises

Dans le canton de Berne, près de 27 000 réverbères éclairent les routes cantonales. Jusqu'en 2013, ceux-ci consommaient chaque année quelque 16 gWh d'électricité, autant qu'une commune comportant environ 3000 maisons. Comme de nombreuses installations d'éclairage de la première génération avaient dépassé la fin de leur cycle de vie, près de la moitié des réverbères des routes cantonales bernoises devaient êtres remplacés dans les années suivantes. L'Office des ponts et chaussées souhaitait profiter de ce renouvellement pour apporter une contribution notable à la mise en œuvre de la stratégie énergétique.

Un potentiel d'économie a été identifié là où les réverbères, durant la nuit, éclairaient aussi des routes cantonales peu fréquentées, voire pas du tout utilisées. Il fallait profiter du fait que l'intensité des lampes LED peut varier rapidement et avec beaucoup de flexibilité pour piloter l'éclairage en fonction des « contacts clients ». Lorsqu'aucun usager ne se trouve sur la route, les lampes basculent vers un mode d'éclairage minimal très économe en énergie et tout à fait suffisant pour s'orienter. Ce n'est ensuite que lorsqu'une voiture, un vélo ou un piéton s'approche et se fait repérer par des détecteurs que le réverbère ainsi que deux ou trois lampes voisines font remonter l'intensité de leur éclairage au niveau de la norme. Ainsi, un tapis de lumière précède les usagers. Lorsque ces derniers quittent à nouveau le secteur de détection d'un réverbère, celui-ci retourne au niveau d'intensité permettant de se repérer dans l'espace. Afin que les hausses et les baisses d'intensité incommodent le moins possible les riverains, la transition entre les deux intensités d'éclairage doit être progressive.

Durant une phase d’essai d’une année, trois installations pilotes ont montré que cette technologie fonctionnait parfaitement et que les économies réalisées étaient très importantes, à la suite de quoi plus de 3500 sources lumineuses ont été modifiées le long des routes cantonales jusqu’en 2016. Par rapport aux anciennes installations, les lampes LED à commande intelligente permettent d’économiser plus de 80 % d’électricité et 90 % des coûts d’exploitation. Si l’on extrapole ce résultat à l’ensemble des quelque 27 000 réverbères, on obtient un potentiel d’économie annuel de 14 gWh ou de 2,4 millions de francs par rapport à 2013 (Office des ponts et chaussées du canton de Berne 2015b, Breuer 2016).

A3 Les conséquences des émissions lumineuses

La lumière artificielle peut avoir des conséquences indésirables pour l'homme, la diversité des espèces et le paysage nocturne, comme expliqué ci-après.

A3.1 Conséquences pour l'homme

A3.1.1 Généralités

Pour la santé et le bien-être de l'homme, il est indispensable de disposer de suffisamment de lumière au bon moment. Un excès de lumière peut cependant aussi avoir des conséquences négatives. La gravité de celles-ci varie, allant de dommages causés directement aux yeux ou à la peau, par une lumière très intense, à des effets plutôt incommodants qui, dans certaines conditions – en particulier la nuit – peuvent déjà être déclenchés par une lumière de faible intensité (OFEV 2012). Dans le cadre de sondages réalisés auprès de la population en 2014 et 2015, respectivement 22 et 24 % des personnes interrogées ont indiqué qu'elles considéraient que la lumière de l'éclairage public, des maisons voisines ou des jardins, des terrains de sport, des publicités lumineuses, etc. était plutôt voire très incommodante dans leur logement (Schaub 2014, 2015).

Selon les experts, on peut exclure que les sources de lumière artificielle extérieures causent des dommages physiques directs aux yeux ou à la peau (LAI 2012). Les conséquences les plus importantes relèvent davantage de la gêne ou d'un dérangement affectant le bien-être. La littérature spécialisée cite les éblouissements et la gêne causée par une illumination excessive des locaux résidentiels. On étudie aussi activement, de nos jours, si les sources de lumière artificielle influencent le rythme biologique circadien (effets dits « chronobiologiques »).

A3.1.2 Éblouissement

Pour l'éblouissement, on distingue l'effet physiologique de l'effet incommodant. Dans la littérature spécialisée, ce dernier est aussi appelé « éblouissement psychologique[19] » ou « éblouissement subjectif ».

L'éblouissement physiologique correspond à une baisse de l'acuité visuelle qui peut être mesurée objectivement. L'acuité visuelle est perturbée lorsque la lumière qui parvient sur les petites irrégularités de l'œil est telle qu'elle produit un voile lumineux qui réduit les contrastes des images sur la rétine. Les personnes âgées sont plus sensibles à l'éblouissement que les jeunes, car elles souffrent davantage de troubles des différents composants de l'œil – cornée, cristallin et corps vitré.

Lorsque l'intensité de la lumière est telle que l'œil ne peut plus s'adapter à la luminosité, on parle d'éblouissement absolu (SSK 2006). Dans ce cas, les facultés visuelles sont considérablement réduites, voire (temporairement) perdues. Dans la vie quotidienne, cela peut se produire lorsque la lumière du soleil est reflétée par des éléments de bâtiments (façades en verre, revêtements métalliques, vitres, installations photovoltaïques ou capteurs solaires). On ignore encore à partir de quelle intensité et de quelle durée de tels éblouissements sont nuisibles (OFEV 2012).

A3.1.3 Éblouissement incommodant durant la nuit

On parle d'éblouissement incommodant pour désigner la gêne ou le désagrément ressentis par une personne la nuit lorsque de la lumière parvient dans son champ visuel alors que le reste de son environnement est obscur. La sensation gênante ou incommodante ne dépend pas d'une perturbation de l'acuité visuelle. On peut par exemple considérer comme incommodante une source lumineuse qui attire le regard sans apporter d'information importante et ne fait ainsi que distraire. Selon une autre hypothèse, la conjonction de surfaces sombres et claires sur la rétine entraîne un conflit entre les muscles qui dilatent la pupille dans l'obscurité et ceux qui la contractent sous l'effet de la lumière (Schierz 2009).

[19] Moshammer et Kundi (2013) considèrent que le terme « éblouissement psychologique » est peu adapté, parce qu'il peut être mal interprété. Ils précisent que l'effet étudié ne constitue pas un phénomène purement subjectif. Ils préfèrent donc parler d'éblouissement gênant. Dans le présent rapport, on utilise cependant le terme « éblouissement incommodant » par analogie avec la terminologie de la loi sur la protection de l'environnement (LPE).

A3.1.4 Illumination des locaux

Par illumination des locaux, on entend l'illumination d'un lieu d'habitation par un dispositif d'éclairage situé à proximité et restreignant l'utilisation de ce lieu. Une telle illumination excessive peut produire différentes perturbations, dont les plus fréquentes sont les troubles du sommeil. Les sources lumineuses les plus gênantes sont – par ordre croissant – la lumière jaune ou blanche, la lumière verte, rouge ou bleue, ainsi que les lumières clignotantes, la gêne augmentant avec la fréquence du clignotement (Schierz 2009).

A3.1.5 Effets chronobiologiques

Le cycle veille-sommeil de l'homme est en grande partie déterminé par la lumière naturelle. Ces dernières années, des recherches ont toutefois montré que ce rythme pouvait aussi être influencé par l'éclairage artificiel. Les effets sont particulièrement prononcés pour la lumière bleue ou la lumière dont le spectre contient une importante composante bleue.

Les perturbations du cycle veille-sommeil pourraient entraîner d'autres conséquences pour la santé : elles nuiraient au sommeil, modifieraient la production hormonale ou altéreraient le fonctionnement du cœur. On suppose en outre qu'elles affectent le cycle menstruel des femmes, réduisent la résistance aux maladies infectieuses et accélèrent l'arrivée de la puberté (Gronfier 2015).

D'un point de vue scientifique, on ne dispose toutefois pas encore de conclusions définitives concernant l'intensité lumineuse, les moments de la journée et le temps d'exposition à partir desquels de tels effets surviennent. La recherche chronobiologique se concentre pour l'instant sur les sources de lumière internes aux locaux, qui exercent un effet immédiat sur l'homme et induisent souvent des expositions plus importantes que les sources extérieures. Outre les perturbations du cycle veille-sommeil dues aux nouveaux équipements, tels que lampes économiques et LED, ou à la lumière des écrans (écrans LED, tablettes, par exemple), ces études abordent aussi les éventuels dégâts photochimiques portés à la rétine (« blue light hazard ») et les phénomènes de scintillement (OFSP 2016).

Pour l'utilisation à l'intérieur, l'office fédéral de la santé publique OFSP formule les recommandations suivantes : « Dans les pièces où séjournent des personnes durant les heures qui précèdent le coucher, privilégiez les lampes à LED ou à économie d'énergie qui émettent une lumière de type « blanc chaud », soit une température de couleur de l'ordre de 3000 kelvins (K). […] Les lampes qui émettent une lumière de type « blanc neutre » ou « blanc froid », soit une température de couleur de 4000 K ou davantage, sont moins adaptées à ces pièces. En effet, la composante bleue de leur lumière exerce un effet stimulant sur l'organisme, impactant ainsi les rythmes de sommeil et divers autres processus physiologiques. » (OFSP 2016, p. 1-2).

Dès que l'on saura mieux quelle intensité lumineuse et quelle durée d'exposition sont susceptibles de perturber le cycle veille-sommeil, il sera aussi possible d'estimer si les sources de lumière situées dans l'environnement peuvent contribuer de manière significative à ces effets chez l'homme (en raison de leur spectre lumineux et de leur intensité à l'endroit où elles sont perçues).

A3.2 Conséquences pour le paysage nocturne

La Convention européenne du paysage (2000) définit le paysage comme « une partie de territoire telle que perçue par les populations, dont le caractère résulte de l'action de facteurs naturels et/ou humains et de leurs interrelations » (art. 1). La lumière artificielle peut avoir des conséquences grandes pour le paysage nocturne :

À travers le monde, la hausse des émissions lumineuses réduit l'obscurité durant la nuit et la confine à des secteurs de plus en plus restreints. Les grandes zones naturelles obscures sont de plus en plus rares en Europe, ce qui provoque la **disparition du paysage nocturne naturel**. Sur le Plateau suisse, le ciel nocturne est si fortement illuminé qu'on n'y aperçoit plus à l'œil nu qu'une fraction des étoiles potentiellement visibles. L'augmentation des émissions de lumière en Suisse est due notamment au fort mitage du territoire et au grand nombre de sites surélevés d'où la lumière artificielle se propage dans le paysage (OFEV 2012).

L'Observation du paysage suisse (OPS) consacre un indicateur à l'évolution des émissions lumineuses en Suisse (OFEV 2010, 2017). À l'aide d'images satellite, elle calcule l'intensité de la **lumière dirigée vers le ciel**, qui se compose d'émissions orientées directement vers le haut et de lumière diffuse. Dans l'ensemble, les émissions de ce type ont plus que doublé en Suisse entre 1994 et 2012 (voir Figure 24). Au cours des vingt dernières années, la part de surface encore sombre la nuit a diminué en conséquence : on n'observait plus d'obscurité naturelle que sur 28 % de la surface de la Suisse en 1994, et cette proportion s'était réduite à 18 % en 2009. On ne retrouve déjà plus aucun kilomètre carré d'obscurité nocturne sur le Plateau à partir de 1996, ni dans le Jura à partir de 2008 (OFEV et WSL 2017, 2013).

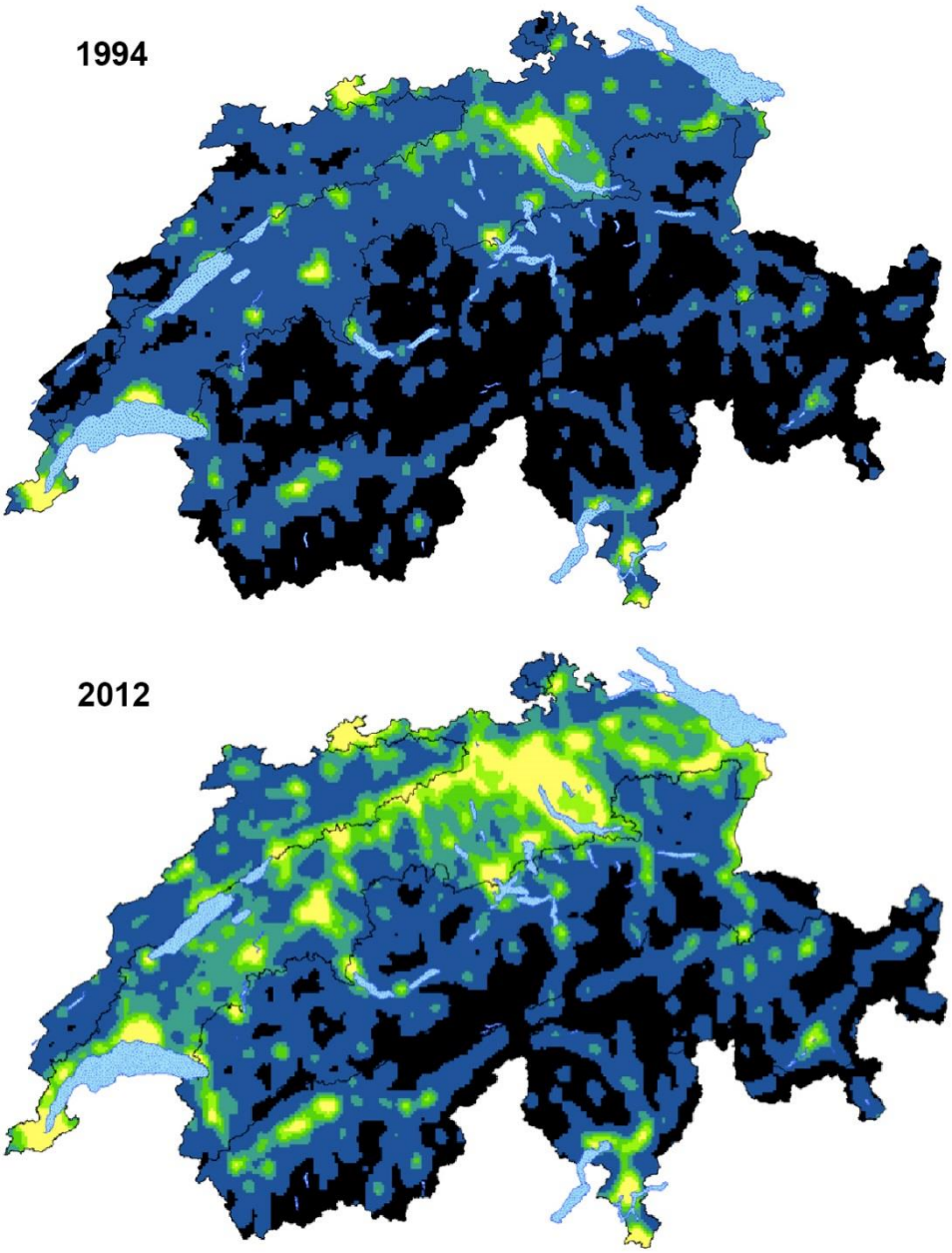


Figure 24 : Entre 1994 et 2012, les émissions lumineuses dirigées ou reflétées vers le haut ont plus que doublé. Elles se sont renforcées en particulier dans les zones d'agglomération, mais l'obscurité recule aussi dans les régions périphériques (OFEV et WSL 2017, 2013).

A3.3 Effets sur la nature

A3.3.1 Généralités

Cinq paramètres de la lumière influencent les espèces : la qualité du spectre lumineux, l'intensité de la lumière, son orientation, la durée et la période d'éclairage. Chacun de ces paramètres est appréhendé par les espèces selon leurs capacités visuelles et leurs cycles physiologiques. Chaque espèce réagit ainsi différemment à l'éclairage nocturne. Les espèces nocturnes ou crépusculaires (espèces actives la nuit avec des pics d'activité à l'aurore et/ou au crépuscule) sont celles qui sont potentiellement les plus impactées.

Pour comprendre comment la lumière artificielle nocturne peut affecter les organismes vivants, il faut garder à l'esprit que la lumière modifie, dans un premier temps, l'attrait des individus pour un environnement donné. Certains animaux sont attirés par la lumière (phototaxie positive) tandis que d'autres la fuie (phototaxie négative). La lumière modifie également les capacités des animaux à s'orienter dans l'environnement. L'attraction/répulsion pour un environnement et les capacités d'orientation peuvent à leur tour affecter les comportements locomoteurs, alimentaires (notamment prédation), reproducteurs des espèces ainsi que la compétition entre elles (Le Tallec 2014, voir Figure 25).

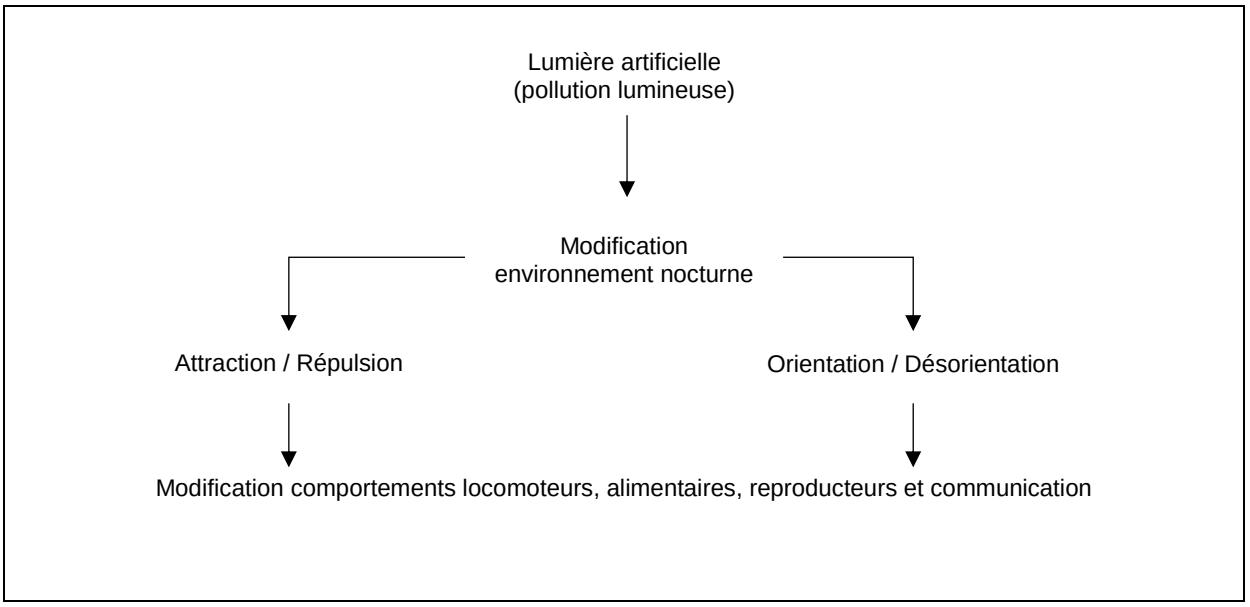


Figure 25 : La pollution lumineuse, en augmentant l'illumination de l'environnement nocturne, modifie l'attrait des individus pour un environnement donné et leurs capacités à s'y orienter. A terme, ces modifications impactent les comportements locomoteurs, alimentaires, reproducteurs et les communications (Le Tallec 2014).

Les effets cumulés d'attraction/répulsion et d'orientation/désorientation ainsi que les changements de comportement qui en découlent ont le potentiel d'interrompre le fonctionnement d'écosystèmes-clés. Ainsi, un écosystème important peut être déstabilisé sous l'effet de la lumière artificielle.

Dans un contexte où la biodiversité s'amenuise toujours davantage, il est important de relever que la lumière artificielle renforce encore l'homogénéisation ayant actuellement cours au sein des milieux naturels. En effet, alors que les espères qui tolèrent la lumière profitent des éclairages nocturnes ou s'y adaptent, les espèces sensibles en souffrent. Leur capacité de survie est réduite et leur risque de mortalité augmente (SWILD 2011). Les espèces qui souffrent le plus des effets indésirables des éclairages nocturnes sont souvent des espèces déjà menacées ou qui ne sont pas capables de s'adapter à l'urbanisation.

A3.3.2 Effets sur la faune et la flore

Même si chaque espèce réagit différemment à l'éclairage nocturne, il est possible de décrire les effets de l'éclairage nocturne par groupe d'organismes.

A3.3.2.1 Mammifères

La réponse des mammifères à la lumières dépend de l'architecture de l'œil : les pupilles, les types de lentille et plus particulièrement les cellules photo-sensitives de la rétine (cônes et bâtonnets). L'éclairage nocturne a un effet sur l'horloge biologique des mammifères, notamment en prolongeant le rythme circadien (Häder 2004). Toutes les chauves-souris, la plupart des petits carnivores terrestres et des rongeurs sont nocturnes et sont donc fortement influencés par l'éclairage artificiel.

Même avec la seule lumière du clair de lune, la plupart des mammifères nocturnes tentent de limiter le risque accru de prédation en réduisant leur utilisation des espaces ouverts, leur activité de recherche de nourriture et/ou la durée de leur activité totale ou en concentrant leur activité sur la période la plus sombre de la nuit. Avec la lumière artificielle, les animaux nocturnes ont 2 possibilités malheureuses :

1. Accepter le risque de prédation lors de la recherche de nourriture sous une lumière intense
2. Continuer de minimiser le risque avec le coût de perdre en masse corporelle (sous la lumière, certains rongeurs amènent 40% de leur nourriture au terrier avant de la manger au lieu de 4% dans l'obscurité)

Afin de limiter les risques de prédation, certains individus interrompent également leur mouvement de dispersion à travers le paysage, ce qui a pour effet de diminuer les échanges génétiques entre populations.

L'éclairage artificiel des infrastructures routières augmente le nombre de collision entre les véhicules et les mammifères à cause du changement rapide ombre/lumière qu'il génère.

Chauves-souris

Certaines espèces de chauves-souris sont sensibles à la lumière (lucifuges), tels les murins, les rhinolophes et les oreillards alors que d'autres ne sont pas gênées par les éclairages. Au contraire, les espèces de chauves-souris non lucifuges (*Nyctalus*, *Epesticus* et *Pipistrellus*) obtiennent même une grande partie voir la quasi-totalité de leur nourriture (insectes) près des lampadaires et éclairages artificiels. Même si, loin des lampes artificielles, les chauves-souris se nourrissent également d'insectes concentrés à certains endroits, par exemple par le vent, les zones près des éclairages artificiels ne sont pas représentatives des conditions dans lesquelles les chauves-souris et les insectes ont évolué durant des milliers d'années. Comparé à d'autres habitats, l'apport alimentaire près des lampes est plus important et les chauves-souris y capturent un taux plus important de papillons à activité nocturne (lépidoptères) que de mouches et de coléoptères. L'apparent avantage pour les chauves-souris ne se confirme pas à long terme car elles consomment beaucoup de proies qui viendront à manquer sur le long terme (Rydell 2005).

Les chauves-souris sont nocturnes et très mobiles. Elles s'orientent grâce leur faculté d'écholocation (capacité à entendre l'écho des ultrasons qu'elles émettent). Lors des déplacements de leur gîte à leurs territoires de chasse, les chauves-souris suivent souvent des routes de vol traditionnelles en se référant à des structures paysagères linéaires, telles des haies, des rangées d'arbres, des bâtiments, des lisières de forêts ou des berges boisées. Pour les espèces lucifuges, l'éclairage artificiel d'infrastructures routières peut totalement interrompre ces routes de vol (effet barrière) ou réduire considérablement leur perméabilité. Ces espèces sont alors forcées de faire parfois de longs détours pour accéder à leurs territoires de chasse.

Lors de la période estivale, les chauves-souris se réunissent en colonie, par exemple sous les toits, le plus souvent dans des greniers, ou derrière des lambris. Pour beaucoup d'espèces, les bâtiments représentent la principale structure d'accueil durant l'été. En hiver, les chauves-souris hibernent le plus souvent dans des grottes ou des fissures de rochers. L'éclairage artificiel sur les sorties des gîtes (éclairage de façades par exemple) influence le rassemblement des chauves-souris autour du gîte après la chasse le matin mais a surtout des conséquences pour l'envol du soir. En effet, si l'orifice de

sortie du gîte est éclairé, les animaux tardent à s'envoler. Ils ont ainsi moins de temps à disposition pour chercher leur nourriture et ne profitent pas du pic d'abondance des proies qui émergent au crépuscule. Ce retard induit notamment un décalage de la naissance des jeunes et un taux plus faible de croissance des juvéniles (Boldogh et al. 2007).

Il a été démontré que certaines espèces comme le grand rhinolophe (*Rhinolophus ferrumequinum*), le grand murin (*Myotis myotis*) et les oreillards (*Plecotus auritus* et *P. austriacus*) préfèrent quitter leur gîte par la sortie la plus sombre. Par exemple, lorsqu'on éclaire 3 façades d'une tour où se trouve une colonie d'oreillard gris (*P. austriacus*), les chauves-souris délaissent les sorties éclairées pour n'utiliser plus que la sortie du côté sombre de la tour (Beck 2005). Etant donné que les chauves-souris changent de gîte en hiver, les conséquences de l'éclairage sont limitées à la période estivale.

Les éclairages nocturnes influencent également la compétition interspécifique qui peut aboutir à l'exclusion d'une espèce par rapport à une autre sur un site d'alimentation. Un exemple clair de population influencée négativement par les éclairages publics est celui du petit rhinolophe (*Rhinolophus hipposideros*), une espèce qui a rapidement décliné dans de nombreuses régions et a désormais une priorité très élevée au niveau national. Cette espèce lucifuge qui n'utilise pas les insectes près des lampes comme sources de nourriture s'est presque éteinte localement dans plusieurs vallées des alpes valaisannes après l'installation d'éclairage public dans ces vallées. Au même moment, ces vallées ont été fortement colonisées par la pipistrelle commune (*Pipistrellus pipistrellus*), espèce non lucifuge répandue, attirée par les proies faciles autour des lampes. Puisque les 2 espèces sont similaires en taille et mangent les mêmes types d'insectes, il est possible que l'extinction locale du petit rhinolophe ait été causée par l'exclusion compétitive générée suite à l'installation des lampes dans la vallée (Arlettaz et al. 2000).

A3.3.2.2 Oiseaux

Une grande partie des oiseaux migrateurs se déplacent de nuit au printemps (de mars à mai) et en automne (d'août à novembre). Grâce aux étoiles et au champ magnétique terrestre, ils peuvent se repérer même lorsque le ciel est couvert mais l'éclairage artificiel perturbe leur orientation. Diverses sources de lumières artificielles peuvent attirer les oiseaux et les dévier de leur trajectoire. Il peut s'agir de dômes lumineux formés par les villes, de sources lumineuses ponctuelles telles des buildings et des tours de télécommunication ainsi que des faisceaux lumineux orientés vers le haut.

Dôme lumineux : En cas de nuages bas, de brume ou de brouillard, la lumière des villes, des agglomérations et des bâtiments se reflète dans les gouttes d'eau en suspension dans l'air, ce qui crée au-dessus des localités un vaste halo – ou dôme – lumineux (Manville 2000). Dans ces conditions, les migrateurs se déplacent à basse altitude, au-dessous des nuages, et ne peuvent pas s'orienter en fonction des étoiles ou de repères existants sur le terrain. Même si les oiseaux peuvent toujours s'orienter en fonction du champ magnétique, ils préfèrent généralement l'orientation optique. Ainsi, lorsque la visibilité est mauvaise, ils sont souvent attirés par les dômes lumineux des villes. Une fois dans le halo lumineux, ils tournent en rond pendant des heures. Ils n'en sortent en général que dans la seconde moitié de la nuit, épuisés, et cherchent alors un lieu pour se reposer. Ils perdent ainsi de précieuses réserves d'énergie pour leur voyage long et exigeant. Il n'est pas rare que les oiseaux meurent d'épuisement dans le dôme lumineux ou en percutant des bâtiments. Les jeunes sont plus sujets à la désorientation que les oiseaux adultes expérimentés.

Sources lumineuses ponctuelles : L'orientation des oiseaux n'est pas seulement perturbée par un éclairage à grande échelle, mais également par l'éclairage d'objets isolés tels des gratte-ciel, des hautes cheminées, des tours de radio-télévision ou encore des projections contre des parois de montagne (éclairage publicitaire ou d'art). Bien que la plus haute tour de Suisse ne dépasse pas les 200 mètres, les collisions existent. Ce phénomène est apparemment dû à l'éblouissement des oiseaux qui ne discernent plus les obstacles et volent directement dans la source lumineuse (Wüthrich 2001). Jusqu'à présent, de nombreux cas de collision de masse ont déjà été répertoriés à cause de l'éclairage de petites surfaces. En Suisse, dans les années 1970, des milliers d'oiseaux sont morts contre une paroi de glace de la Jungfrau éclairée par un projecteur publicitaire (Bruderer 2002).

Faisceaux lumineux orientés vers le haut : Les faisceaux lumineux intenses et soudains (projecteurs) influencent le comportement des migrateurs quelles que soient les conditions de visibilité. Des études ont montré que les projecteurs d'une intensité de 200 Watt et non 1000 Watts comme les projecteurs publicitaires effrayaient considérablement les oiseaux, qui dévient de leur trajectoire, ralentissent leur allure et tentent d'éviter la lumière en se déplaçant verticalement. Ce n'est qu'à partir d'une distance d'environ un kilomètre que l'influence du projecteur devient négligeable (Bruderer et al 1999).

La lumière artificielle a également un impact sur le **cycle circadien des oiseaux chanteurs**. Du fait de l'illumination artificielle, les oiseaux dans les parcs ou les rues éclairées commencent à chanter plus tôt qu'en forêt ou pendant la nuit (Bergen & Abs 1997 ; Derrickson 1988). L'ampleur du décalage diffère selon les espèces, dans la mesure où elle dépend du seuil de luminosité à partir duquel elles chantent. Ce décalage se répercute sur la reproduction des oiseaux. Près des lampadaires, les femelles pondent plus tôt et la copulation ainsi que le taux de reproduction sont deux fois plus élevés. La ponte anticipée suscite un défaut de synchronisation de processus biologiques importants. Les besoins alimentaires des petits ne correspondent plus à la période où la nourriture est la plus abondante. Les migrateurs qui sont exposés à la lumière artificielle en hiver engraissent plus rapidement et regagnent leurs quartiers d'été avant les autres. Ils arrivent plus tôt sur leurs sites de reproduction et les chances de survie sont moins élevées (Sydney et al. 2005, De Molenaar et al. 2005).

A3.3.2.3 Reptiles

A cause des températures trop basses la nuit, aucune espèce de reptiles de Suisse n'est active uniquement la nuit. La lumière artificielle le soir et le matin peut avoir un effet répulsif ou attractif selon les espèces. En été, lorsqu'il fait suffisamment chaud, l'éclairage peut prolonger la période d'activité de certaines espèces diurnes. Tout comme les chauves-souris, certains reptiles peuvent également profiter de l'accumulation de proies près des lumières artificielles, tels les insectes (Perry & Fisher 2005).

A3.3.2.4 Amphibiens

Possédant des cycles de vie complexe dont des phases aquatiques et terrestres, les amphibiens dépendent de différents types d'habitats et sont donc exposés à de multiples sources de stress environnementaux.

Anoures (grenouilles et crapauds)

Les populations d'anoures (grenouilles et crapauds) de Suisse sont en déclin à cause notamment de facteurs anthropogènes comme la destruction de leur habitat (milieux humides drainés et asséchés, cours d'eau de surface obstrués ou canalisés), l'utilisation de pesticides, etc. L'éclairage artificiel fait également partie de ces facteurs. Les anoures sont particulièrement sensibles aux effets négatifs de la lumière parce que :

— ils sont essentiellement nocturnes ;

— ils ont différentes phases de vie, chacune dépendant de différents micro-habitats et de différentes conditions environnementales ;

— ils sont moins mobiles que d'autres espèces car ils dépendent fortement de leur source d'humidité et

— ils sont proies et prédateurs d'autres animaux nocturnes également influencés par la lumière.

La plupart des anoures ont une phototaxie positive. Une recherche expérimentale concernant les anoures (grenouilles et crapauds) a montré par exemple que 87 % de 121 espèces ont été attirés par la lumière (Jaeger et Hailman 1973).

La plupart des anoures possèdent une vision nocturne extrêmement sensible, c'est-à-dire qu'ils sont capables de voir avec une lumière extrêmement faible. Les espèces ayant évolués sous une illumination très faible ont développé des adaptations qui leur permettent de mettre à profit les petits changements de luminosité dans l'environnement mais qui limitent leur capacité de compenser dans un éclairage intense. Le crapaud commun (Bufo bufo), par exemple, est capable de capturer une proie en utilisant une vision à faible luminosité (10^{-5} à 10^{-6} lux). Les anoures recherchent leur nourriture lorsque la

nuit est la plus sombre. Même de petites augmentations de lumière dans leur environnement peuvent perturber le moment de l'émergence et retarder leur activité de recherche de nourriture.

Un éclairage artificiel tel un lampadaire gène fortement les anoures parce que cette source de lumière est non seulement intense mais aussi ponctuelle. Dans des conditions naturelles, c'est seulement une fois par mois au maximum, lorsque la lune est pleine et que le ciel est clair que la majorité de la lumière disponible pour la recherche de nourriture des anoures vient d'une source ponctuelle et intense, la lune. Lorsque la lune n'est pas pleine, ou quand les nuages dissimulent la lune, les lumières qui éclairent les habitats des anoures proviennent de sources variées comme la lumière des étoiles ou la lumière de la lune qui se réfléchit dans l'atmosphère, dont les nuages. Plus la lumière est diffuse lorsqu'elle arrive au sol, plus les objets sont éclairés de manière uniforme. Les ombres sont atténuées. Les espèces ont donc besoin de moins d'adaptation aux contrastes forts ombre/lumière. Les anoures qui recherchent leur nourriture proche d'un point lumineux intense doivent constamment se déplacer d'une zone très éclairée à une zone d'ombre et inversement. Or, plus le contraste est fort, plus leur adaptation est lente. Chez les anoures, cette adaptation peut nécessiter plusieurs minutes voir même plusieurs heures (Buchanan 1993). Puisqu'ils ne sont pas capables de s'adapter rapidement aux changements d'éclairage, ils limitent leur mobilité à une zone de luminosité constante ou ralentissent leurs déplacements pour permettre l'adaptation au changement de luminosité. Ils sont également plus vulnérables puisqu'ils ne peuvent pas fuir rapidement les prédateurs (Buchanan 2005).

A cause du risque accru de prédation sous une lumière intense, les anoures adaptent leur comportement :

— choix du partenaire : les anoures sont moins sélectifs sous une lumière intense (Rand et al. 1997);

— chant des mâles : certaines espèces ne chantent plus sous une lumière intense (Longcore & Rich 2004) ou chantent depuis des zones moins cachées afin de voir les éventuels prédateurs approcher.

Urodèles (salamandres)

Tout comme les autres amphibiens, les salamandres sont particulièrement sensibles aux perturbations dans leurs environnements et souffrent d'un déclin global de leurs populations. Les salamandres semblent vulnérables face au dérèglement de leur environnement dû aux lumières artificielles.

De nombreuses études démontrent des changements dans le comportement et les fonctions physiologiques des salamandres sous l'effet de la lumière artificielle la nuit, dont des changements dans la production d'hormones, le métabolisme, le modèle d'activité, et les capacités d'orientation. Malheureusement toutes ces études ont été réalisée avec une intensité de lumière trop forte et qui ne corresponds pas à a réalité.

Les espèces de salamandre réagissent différemment face à la lumière. Certaines fuient les sources lumineuses tandis que d'autres sont attirées. Les conséquences de la lumière artificielle dépendent des préférences de la salamandre pour certaines proies (insectes attirés ou pas par les lumières) et de l'intensité de la lumière. Des études sur le sujet manquent pour les 2 espèces de Suisse.

En présence de poissons-prédateurs qui s'oriente grâce à la lumière, les larves de salamandre passent d'une activité diurne à une activité nocturne. A cause des lumières artificielles, les larves ne profitent plus de ce changement de comportement car les lumières permettent aux poissons-prédateurs de les voir même pendant la nuit. De plus, l'augmentation de la lumière la nuit peut augmenter les périodes de recherche de nourriture des prédateurs diurnes, forçant les larves à rester inactives pour de plus longues périodes (Wise & Buchanan 2005).

A3.3.2.5 Poissons

La perception de la lumière sous l'eau dépend de la capacité de l'eau à transmettre la lumière et des capacités visuelles des espèces. Toutes les espèces de poissons et même tous les individus d'une même espèce ne réagissent pas de la même manière à la lumière artificielle. Les poissons des cours d'eau et des lacs sont de manière générale plus sensibles aux longueurs d'ondes rouges et jaunes (Beatty 1966, Folmar and Dickhof 1981).

Chez les poissons, la réponse comportementale face à la lumière est corrélée avec la stratégie de recherche de nourriture de l'espèce. Les espèces qui occupent et défendent des territoires dans les eaux courantes ont tendance à être peu actives pendant la nuit. Les espèces qui se vivent dans les lacs montrent une activité généralement nocturne et une phototaxie négative, c'est-à-dire qu'elles s'éloignent de la lumière (Godin 1982, Hoar 1951).

La lumière artificielle le long des cours d'eau (et sous les ponts) peut altérer le déplacement des poissons et augmenter le risque de prédation. De ce fait, elle peut réduire le nombre de poissons qui parviennent au terme de leur migration. Elle peut également désynchroniser les migrations et perturber les comportements de fraie (Nightingale et al. 2005, Moore et al. 2005).

A3.3.2.6 Insectes

Die meisten Insekten sind positiv phototaktisch, werden also von Licht angezogen, so zum Beispiel die Larven oder Imagos vieler nachtaktiver Insektengruppen wie Schmetterlinge (Nachtfalter), Käfer, Mücken, Fliegen, Schnaken, Schwebefliegen, Köcherfliegen, Wespen, Wanzen, Grillen etc. (Frank 1988, Eisenbeis & Hassel 2000, Kolligs 2000, Summers 1997). Negativ phototaktisch unter den Insekten sind beispielsweise die Larven von Leuchtkäferchen, welche nur Licht roter Wellenlänge gegenüber indifferent reagieren (Schwalb 1961).

Il est très connu et facilement observable que les insectes sont attirés par la lumière et particulièrement par les longueurs d'onde courte (lumière bleue et ultra-violette). Ce comportement des insectes autour des lampes conduit souvent à une très haute mortalité. Des études ont montré que, selon les estimations, environ 150 papillons à activité nocturne étaient attirés par lampadaire et par nuit pendant les mois d'été, ce qui représente en Allemagne pour cette période 150 billions d'insectes, dont 150 miliards de papillons à activité nocturne (Eisenbeis & Hassel 2000, Strassmann 2002). Beaucoup d'insectes sont également attirés par des éclairages publicitaires ou des façades éclairées. Puisque les insectes sont essentiels en tant que pollinisateurs et en tant que base de la chaine alimentaire, les effets négatifs des éclairages publics sur les insectes pourraient avoir des conséquences écologiques sérieuses.

On décrit trois effets de la lumière sur les insectes (Eisenbeis 2005, voir Figure 26):

A) Le **« *flight-to-light effect* »** aussi appelé « ***fixation*** » ou « ***captivity effect*** »: les insectes sont dérangés dans leur activité normale par des sources lumineuses artificielles. Par exemple, un papillon de nuit parcours un champ à la recherche de fleurs. Lorsqu'il arrive dans la zone d'attraction de la lampe (lampadaire), plusieurs interactions sont possibles :

— L'insecte vol directement sur le verre de protection chaud et meurt, brûlé ;

— Plus fréquemment, l'insecte tourne sans fin autour de la lampe, au lieu de chercher de la nourriture, de s'accoupler ou de pondre, jusqu'à ce qu'il soit attrapé par un prédateur ou tombe épuisé sur le sol ;

— Certains insectes sont capables de quitter la zone la plus proche de la lampe et retourne vers la zone d'ombre. Ils y restent sur le sol ou dans la végétation et restent inactifs. Le déclenchement de ce comportement est probablement dû à un très fort éblouissement.

B) Le **« *crash barrier effect* »** est une perturbation du mouvement de l'insecte dans leur trajectoire de vol de longue distance. Par exemple, un insecte vole à travers la vallée le long d'un cours d'eau. Il utilise des repères naturels pour se diriger. La voie qu'il suit croise une route éclairée. L'insecte s'écrase sur la barrière lumineuse, souffrant des mêmes effets que ceux décrit dans le premier effet. Avec un écart moyen de 30 à 50 m entre chaque lampadaire, les routes éclairées sont presque infranchissables pour les insectes nocturnes, ce qui morcelle leurs habitats.

C) Le **« *vacuum cleaner effect* »** : les insectes qui généralement ne se déplacent pas sont aspirés hors de leur habitat.

A long terme, ces 3 effets réduisent les populations d'insectes concernés. L'importance de ces effets sur les insectes dépend de la luminosité générale de l'environnement. Par exemple, la pleine lune atténue ces effets et notamment le « *flight-to-light effect* ».

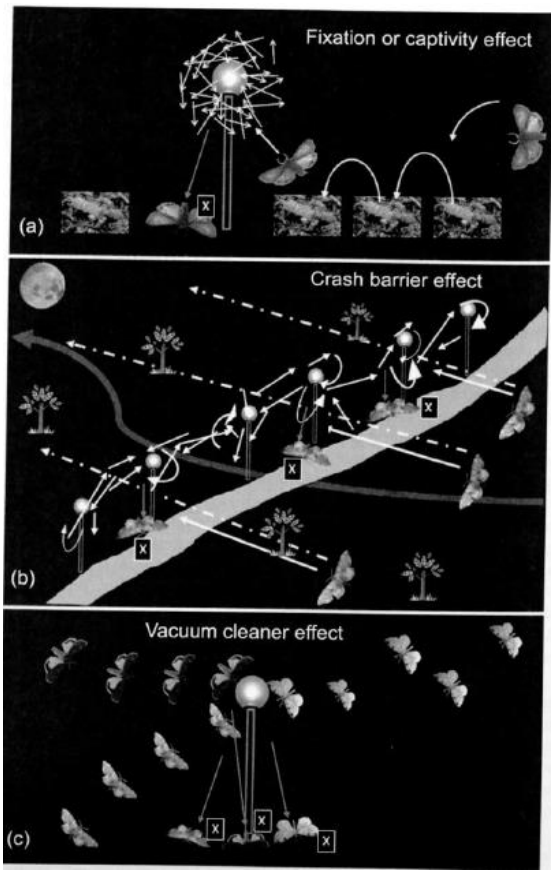


Figure 26 : Principaux effets de la lumière artificielle sur le comportement des insectes dans la zone proche des lampes : a) « fixation » or « captivity » effect, b) « crash barrier effect », c) « vacuum cleaner effect » (Eisenbeis 2005).

La force d'attraction des lampes dépend en grande partie de leur composition spectrale. Les insectes sont surtout attirés par les rayons ultraviolets. Ainsi, ils affluent davantage vers la lumière blanche que vers des éclairages orangés. Les espèces les plus courantes, qui ont une plus grande capacité d'adaptation, sont celles qui sont le mieux à même de tirer avantage des émissions lumineuses (SWILD 2011). Les groupes qui sont les plus attirés par les lampadaires sont les papillons à activité nocturne, les trichoptères à activité nocturne et les éphémères.

Il est à noter que les lucioles et vers luisants (coléoptères) sont perturbés par la lumière dans leur communication sexuelle car les femelles attirent les mâles grâce à la lumière qu'elles produisent. Cette communication est fortement atténuée lorsque la femelle se trouve proche d'une source lumineuse (Frank 2005, Lloyd 2005).

A3.3.2.7 Plantes

Les plantes sont continuellement bombardées de signaux biotiques et abiotiques, dont la lumière. Pour percevoir la lumière, les plantes utilisent 4 familles différentes de photorécepteurs. Une d'elles est la famille des phytochromes, qui sont responsables de réguler de nombreux aspects dans le développement de la plante comme l'expansion de feuilles (induit sous l'effet de la lumière), l'élongation des tiges (inhibé sous l'effet de la lumière), le développement de toute la machinerie pour la photosynthèse (induit) et la floraison (induit ou inhibé). Pour de nombreuses essences, la formation des fleurs dépend de la durée d'ensoleillement et de la température. Une exposition à la lumière artificielle pendant la phase d'obscurité peut, selon les variétés, entraver ou accélérer la floraison (Briggs 2005).

Si les mécanismes de perception de la lumière et le rythme journalier des plantes ont fait l'objet de nombreuses études, les conséquences de l'éclairage artificiel pour la flore n'ont pour l'instant pas été spécifiquement examinées. On a toutefois pu observer que, l'automne, la chute des feuilles est retar-

dée sur les branches d'arbres directement éclairées par un réverbère, en raison de la prolongation artificielle du jour (voir Figure 27).

Figure 27 : Il arrive qu'à la fin de l'automne, une branche située en dessous d'un réverbère soit encore garnie de feuilles tandis que le reste de l'arbre, non illuminer, est déjà nu. Ce phénomène pourrait entraîner un affaiblissement des arbres à proximité des zones habitées.

A3.3.3 Effets sur les millieux naturels

Il est difficile de prévoir l'impact de la lumière artificielle nocturne sur les milieux naturels car il dépend des effets cumulés de la lumière sur chaque espèce voir sur chaque individu. De plus, pour le moment, peu d'études évaluent l'impact de la lumière à l'échelle des milieux naturels ou des écosystèmes. Pourtant, en prenant en compte tous les effets sur les espèces mentionnés ci-dessus, nous pouvons nous attendre à ce que les éclairages nocturnes aient un effet significatif sur les milieux naturels.

La fragmentation et l'isolement des espaces naturels sont une des principales causes de la perte de la biodiversité en Suisse et dans le monde. Les infrastructures, telles les voies de communication, les zones d'habitation et industrielles, constituent des obstacles diurnes mais également, et peut-être même davantage nocturnes lorsqu'ils sont éclairés. Les milieux n'étant plus connectés entre eux, ils s'appauvrissent. Les écosystèmes ne fonctionnent plus correctement.

La lumière artificielle peut avoir des impacts particulièrement importants sur certains milieux. C'est le cas des milieux aquatiques qui sont pourtant souvent éclairés près des villes. En effet, un grand nombre d'espèces aquatiques sont sensibles à la lumière artificielle nocturne et ce à tous les niveaux trophiques. Poissons, amphibiens, trichoptères, éphémères, daphnies, zooplanctons et planaires sont autant d'organismes vivants dans des milieux aquatiques et étant très fortement influencés par la lumière artificielle.

A4 Plans d'éclairage (« Plan Lumière »)

A4.1 Généralités

En complément aux instruments de l'aménagement du territoire, qui réglementent l'utilisation et le développement généraux d'une région ou d'une commune, on a aussi élaboré en bien des endroits, ces dernières années, des **plans ou stratégies d'éclairage** spécifique, appelés par exemple « **Plan Lumière** ».

Les premiers plans de ce type ont été conçus avant tout comme des instruments stratégiques d'aménagement destinés à mettre en valeur et bien présenter l'espace public et le paysage urbain durant la nuit. En Europe, la ville française de Lyon a joué un rôle pionnier en établissant son premier Plan Lumière en 1989. Ce n'est qu'au cours du temps que les questions d'écologie et d'efficacité énergétique sont venues s'ajouter à ces instruments ; dans le cas de Lyon, par exemple, cela n'a été fait que dans la deuxième version du plan, en 2004 (Daouk 2015).

À côté de grandes villes telles que Bâle, Genève, Lausanne, Lucerne, Winterthour ou Zurich, des communes et des villes de taille plus réduite ont aussi élaboré un plan d'éclairage ou sont en train de le faire (Carouge, Thalwil, centre de Schwyz, Rheinfelden ou Zofingue, par exemple).

Un tel plan d'éclairage assume les fonctions suivantes :

— planification stratégique générale de la lumière (et de l'ombre) dans un secteur de grande taille et pour une longue période ;

— instrument de coordination pour les divers services et acteurs impliqués.

A4.2 Marche à suivre pour l'établissement d'un plan d'éclairage de grande envergure

Intégrer un plan d'éclairage dans une planification municipale ou régionale est une pratique relativement récente mêlant aménagement et urbanisme. Il n'existe donc pas encore de palette d'instruments permettant d'élaborer, d'adopter et de mettre en œuvre une stratégie d'éclairage ou de garantir le respect de ses exigences au plan juridique. Dans la pratique, la préparation et la mise en œuvre se font souvent en trois phases : état des lieux, conception et mise en œuvre. Dans ce contexte, les problématiques mentionnées ci-après sont notamment abordées (voir par ex. Schmidt 2007, Ville de Zurich 2004, Ville de Lucerne 2006, Aeberhard 2015, Herfort 2015, Commune de Thalwil 2015) :

A) État des lieux

— Distinction entre diverses zones et fonctions qui leur sont associées dans le périmètre de projet (par ex. zone centrale, zones résidentielles, zones industrielles, espaces verts, écoles, installations de sport et de loisirs, habitations pour personnes âgées, etc.).

— Axes de transport, rues, chemins ou places existants.

— Milieux naturels existants et populations d'espèces animales sensibles à la lumière (par ex. parcs, rives, lisières, quartiers de jour de chiroptères, nids d'oiseaux dans des remparts ou des tours historiques, etc.).

— Éclairages publics ou privés existants (tous types de lampes, consommation d'énergie, avec parfois des mesures de l'éclairement et de la luminance dans les rues et sur les places, ainsi que sur les façades de bâtiments).

— Analyse de l'utilisation nocturne que les habitants font des zones identifiées dans la ville.

— Évaluation de l'éclairage existant :

  — Où l'éclairage est-il déjà utilisé judicieusement ?

  — Où se situent les lacunes en matière d'éclairage (espaces qu'on évite parce qu'ils suscitent de l'inquiétude, par exemple) ?

  — Où y a-t-il trop de lumière ?

- Où de la lumière est-elle diffusée vers le ciel nocturne, vers des milieux naturels avoisinants ou vers des logements ?
- Où les émissions portent-elles atteinte à des espèces animales sensibles à la lumière ?

B) Conception

- Définition des buts et principes fondamentaux
  (par ex. en ce qui concerne l'amélioration de la sécurité et des possibilités de se repérer, la consommation d'énergie et la réduction des coûts, la diminution des émissions lumineuses, la participation de la population, etc.).
- Définition d'objectifs liés à certains espaces
  Comment doit se faire la structuration nocturne d'un paysage (urbain) ? Comment utiliser ou protéger quels espaces durant la nuit ? À quoi doivent ressembler les voies de liaison ? Il est aussi possible de représenter graphiquement sur un plan la délimitation de diverses zones dans lesquelles la lumière et l'obscurité doivent être utilisées de manière spécifique (Figure 28).
- Élaboration de plans d'éclairage pour l'ensemble du périmètre et pour divers sous-secteurs. La planification distingue les fonctions suivantes pour la lumière (voir notamment Schmidt 2007, Ulmann 2015) :
  - De la lumière pour voir : lumière fonctionnelle (éclairage public des rues et places, par exemple).
  - De la lumière pour regarder : lumière de mise en valeur (par ex. éclairage de bâtiments particuliers). Met en évidence certains secteurs ou objets et en dissimule d'autres pour permettre aux personnes d'expérimenter un espace pendant la nuit. La lumière doit guider la perception, mais sans apparaître elle-même, elle doit « donner l'impression que les éléments illuminés luisent par eux-mêmes » (Schmidt 2007, p. 28).
  - De la lumière à regarder, de la lumière pour représenter : la lumière sert de support d'information (publicité lumineuse, par exemple).
- Planification des coûts de construction et d'exploitation pour la mise en œuvre

C) Mise en œuvre

- Instruments juridiques :
  Faut-il procéder à l'adaptation de certains actes juridiques (règlements de construction et d'affectation, loi sur l'aménagement et les constructions, règlement sur la publicité, etc.) ?
- Collaboration :
  - Entre autorités :
    Examen du déroulement des procédures d'autorisation (garantir l'implication de tous les services concernés et optimiser les procédures si nécessaire).
  - Partenariat public-privé :
    Le but des projets de partenariat public-privé est d'intégrer au plan général d'éclairage les acteurs privés qui illuminent leur bien immobilier (hôtels, restaurants, par exemple). Des synergies doivent ainsi être créées entre ceux-ci et la collectivité publique. Il s'agit également de négocier un financement. Les acteurs privés profitent dès lors d'une planification et d'une exécution professionnelles, alors que la collectivité publique obtient la garantie que les principes du plan général d'éclairage seront mis en œuvre dans le projet spécifique.
- Plan de réalisation / calendrier :
  Un Plan Lumière comprend divers projets qu'il faut généralement mener à bien sur une longue période (plusieurs années). Un plan de réalisation en plusieurs phases est donc nécessaire.
- Contrôle :
  - Vérification du respect des exigences du plan lors de la réalisation de projets spécifiques.

— Contrôle périodique des exigences de base du plan d'éclairage :
Comme la mise en œuvre d'un plan stratégique se fait sur une longue période durant laquelle la technique d'éclairage et les normes ou réglementations peuvent évoluer, il convient de contrôler les exigences de base de temps en temps et de les adapter si nécessaire.

La section 2.2 contient plus d'informations concernant l'établissement d'un plan d'éclairage et la limitation des émissions lumineuses.

Exemple pratique : définition d'objectifs liés à certains espaces dans le plan général d'éclairage de la commune de Thalwil

Figure 28 : Exemple de représentation graphique montrant quels aménagements lumineux sont prévus dans quelles zones de la commune (source : Commune de Thalwil 2015).

A5 Glossaire

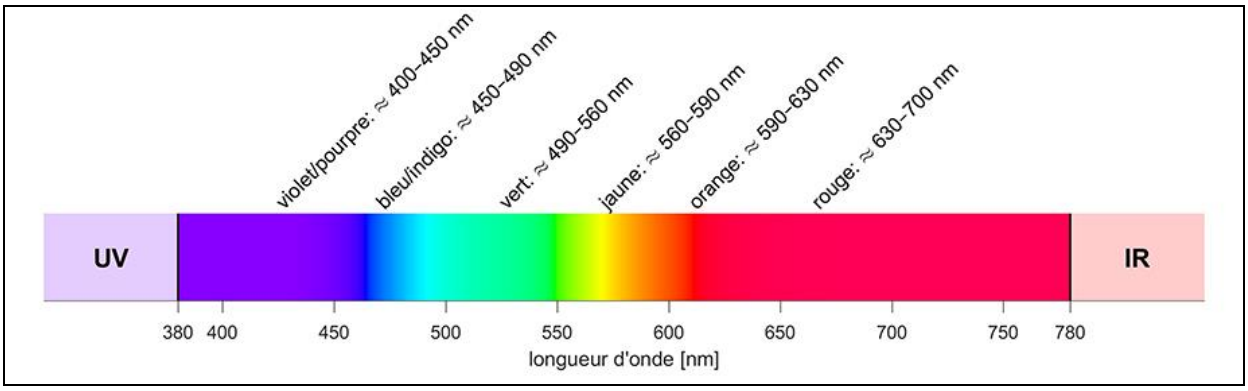


Figure 29 : Spectre lumineux : l'être humain peut percevoir le rayonnement électromagnétique dans une plage de longueurs d'onde comprise entre 380 et 780 nanomètres (nm) environ. La perception des couleurs n'est possible qu'avec les cônes de la rétine, et cela à condition que la luminance dépasse 0,003 candela par mètre carré (cd/m²). Pour reconnaître les couleurs de manière univoque, des luminances supérieures à 3 cd/m² sont nécessaires (Ris 2003).

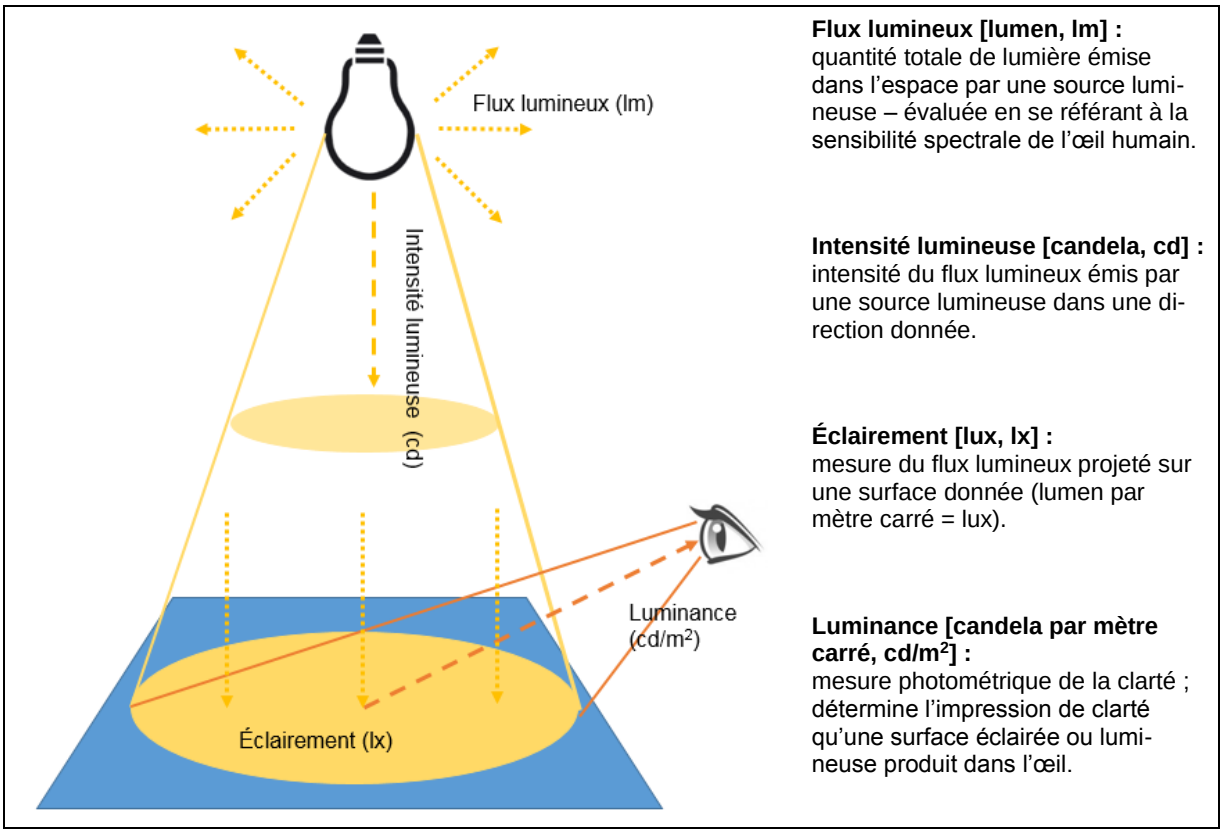


Figure 30 : Représentation des grandeurs photométriques.

Éclairement E	— Correspond au flux lumineux **Φ** qui illumine une surface A. — Unité : lux [lx] = lumen par mètre carré — $E = \frac{\Phi}{A}$ $\left[lx = \frac{lm}{m^2} \right]$ — Peut être mesuré à l'aide d'un appareil de mesure de l'éclairement (« luxmètre »).
Éclairement vertical E_V ou horizontal E_H	— Éclairement rapporté à une surface verticale (façade, par exemple) ou à une surface horizontale (chaussée, par exemple).
Température de couleur, couleur de la lumière	— Les sources lumineuses produisent de la lumière de différents tons de couleurs. La répartition de ces couleurs est décrite à l'aide de la température de couleur. — Unité : kelvin [K] — Pour la température de couleur, on distingue trois groupes : — lumière blanc chaud : moins de 3300 K — lumière blanc neutre : 3300 à 5300 K — lumière blanc froid : plus de 5300 K (blanc de la lumière du jour) — La température de couleur d'une lampe fournit des indications sur l'apparence colorée de la lumière, et non sur les propriétés de rendu des couleurs de celle-ci (Ris 2003).
Rendu des couleurs	— L'impression de couleur induite par un objet éclairé dépend de la composition spectrale de la lumière utilisée. Plus le spectre de lumière est complet, plus cette impression est naturelle. Lorsque certaines gammes de couleurs en sont absentes, il n'est pas possible d'identifier correctement la couleur d'un objet si elle se trouve dans une de ces gammes. — Comme les différentes sources lumineuses produisent de la lumière selon un procédé spécifique, leurs lumières présentent des compositions spectrales variables, ce qui influence leurs propriétés de rendu des couleurs.
Indice de rendu de couleur	— L'indice de rendu de couleur R_a décrit la qualité de rendu des couleurs de la source lumineuse concernée. — La valeur maximale est de 100. Avec une telle valeur d'indice, toutes les couleurs du spectre peuvent être perçues. Plus l'indice de rendu de couleur R_a s'éloigne de 100, moins les couleurs de l'objet éclairé sont rendues correctement (Ris 2003). — Dans la pratique, les sources lumineuses sont réparties dans les catégories suivantes : — R_a = 90 et plus : très bon rendu des couleurs — R_a = 80 à 89 : bon rendu des couleurs — R_a = 70 à 79 : rendu des couleurs satisfaisant — R_a = 60 à 69 : rendu des couleurs suffisant — R_a < 60 : rendu des couleurs insuffisant

Uniformité U	— L'uniformité U décrit la répartition spatiale de la lumière. Elle peut se référer à la luminance ou à l'éclairement. — L'uniformité est constituée du rapport entre les luminances ou éclairements minimaux et moyens ou minimaux et maximaux.
Luminance L	— Mesure photométrique de la clarté. — Est déterminante pour l'impression de clarté qu'une surface éclairée ou lumineuse produit dans l'œil — Unité : candela par mètre carré [cd/m²] de la surface lumineuse A_1 — Si la surface A_1 et la direction de rayonnement sont perpendiculaires, alors : $L = \frac{I}{A_1} \qquad \left[\frac{cd}{m^2} = \frac{lm}{m^2 \cdot sr}\right]$ — Si la lumière est émise dans une direction formant un angle γ par rapport à la perpendiculaire, alors : $L = \frac{I_\gamma}{A_1 \cos \gamma_1}$ avec I_γ = intensité lumineuse en direction de l'angle γ — Peut être mesurée à l'aide d'un luminancemètre.
Spectre lumineux	— Le spectre lumineux (ou spectre de couleurs) décrit la répartition de l'intensité des couleurs (longueurs d'onde) présentes dans la lumière d'une source lumineuse (voir Figure 29). — La lumière blanche du soleil contient toutes les couleurs visibles pour l'être humain, dans des intensités toutefois variables.
Intensité lumineuse I	— Définit l'intensité du flux lumineux qu'une source de lumière émet dans une direction donnée – pondérée en fonction de la sensibilité spectrale de l'œil humain. — Unité : candela [cd] — $I = \frac{\Phi}{\Omega_1} \qquad \left[cd = \frac{lm}{sr}\right]$ — La répartition de l'intensité lumineuse émise dans l'espace par une lampe est représentée graphiquement à l'aide de courbes photométriques.
Flux lumineux Φ	— Quantité totale de lumière émise dans l'espace par une source lumineuse – évaluée en se référant à la sensibilité spectrale de l'œil humain. — Unité : lumen [lm]

A6 Bibliographie

Aeberhard, S., 2015: Luzern im Abendkleid. In: Stadtlicht, Faktor Verlag, Zürich: 20-23.

Aeberhard, S., 2016: Smartes Licht in Urdorf. In: Strassenbeleuchtung, Faktor Verlag, Zürich: 10-13.

Age Stiftung (Hrsg.) 2006: Hinweise für die Planung von altersgerechten Wohnungen. Zürich: 5 S.

Amt für Städtebau, Stadt Zürich (Hrsg.) 2006: Gesamtkonzept Aussenwerbung. Zürich: 5 S.

Arlettaz, R., et al., 2000: Competition for food by expanding pipistrelle bat populations (Pipistrellus pipistrellus) might contribute to the decline of lesser horseshoe bats (Rhinolophus hipposideros). In: Biological Conservation 93: 55-60.

Baudirektion Kanton Zürich (Hrsg.) 2005: Beleuchtungsreglement des Kantons Zürich, Grundsätze, Vorschriften und Richtlinien bezüglich Planung, Bau und Unterhalt an Staatsstrassen. Tiefbauamt, Zürich: 24 S.

Baudirektion Kanton Zürich (Hrsg.) 2016: Schutz der Limmataltläufe in Dietikon, Geroldswil und Oetwil a.d.L. (Naturschutzgebiete mit überkommunaler Bedeutung). Entwurf vom 25. April 2016. Amt für Landschaft und Natur, Zürich: 11 S.

Beier, P., 2005: Effects of artificial Night Lighting on Terrestrial Mammals. In: Rich, C. & Longcore, T. (Hrsg.): Ecological Consequences of artificial Night Lighting. Island Press, London: 19-42.

Beck, A., 2005: Aargauer Beispiele zur Problematik Fledermäuse / Licht. Zusammenstellung des Kantonalen Fledermausschutz-Beauftragten des Kantons Aargau.

Bergen, F., Abs, M., 1997: Etho-ecological study of the singing activity of the blue tit (Parus caeruleus), great tit (Parus major) and chaffinch (Fringilla coelebs). In: J. Ornithol. 138: 451–67.

Boldogh, S. Á. B. et. Al., 2007: The effects of the illumination of buildings on house-dwelling bats and its conservation consequences. In: Acta Chiropterologica, 9(2), 527-534.

Breuer, S., 2016: Dreimal sparen bei der Strassenbeleuchtung. In: ET Licht, September 2016. AZ Medien, Aarau: 40-42.

Briggs, W., 2005: Physiology of Plant Responses to Artificial Lighting In: Rich, C. & Longcore, T. (Hrsg.): Ecological Consequences of artificial Night Lighting. Island Press, London: 389-411.

British Standard BS 5489-1:2013. Code of practice for the design of road lighting - Part 1: Lighting of roads and public amenity areas. London: 74 S.

Bruderer, B., et al. (1999): Behaviour of migrating birds exposed to X-band radar and a bright light beam. In: Journal of Experimental Biology 202(9): 1015-1022.

Buchanan, B., 2005: Observed and Potential Effects of Artificial Night Lighting on Anuran Amphibians. In: Rich, C. & Longcore, T. (Hrsg.): Ecological Consequences of artificial Night Lighting. Island Press, London: 192-220.

Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) (Hrsg.) 2002: Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen (WEA-Schattenwurf-Hinweise). LAI. Stand: 13.03.2002. Berlin: 18 S.

Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) (Hrsg.) 2012: Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz. Stand: 08.10.2012 (Anhang 2 Stand: 03.11.2015). Berlin: 28 S.

Bundesamt für Energie BFE (Hrsg.) 2008: Windkraftanlagen in der Schweiz – Raumplanerische Grundlagen und Auswirkungen. Econcept AG und Institut für Raumentwicklung Hochschule für Technik Rapperswil IRAP-HSR, Zürich und Rapperswil: 78 S.

Bundesamt für Energie BFE (Hrsg.) 2016: Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2015. Bern: 56 S.

Bundesamt für Gesundheit BAG (Hrsg.) 2016: LED-Lampen. Faktenblatt (Stand: 1. November 2016). Bern, 16 S.

Bundesamt für Raumentwicklung ARE (Hrsg.) 2015: Raumentwicklung und Nacht. Die Folgen der 24-Stunden-Gesellschaft. forum raumentwicklung 03/2015. Bern: 104 S.

Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.) 2010: Zustand der Landschaft in der Schweiz. Zwischenbericht Landschaftsbeobachtung Schweiz (LABES). Umwelt-Zustand Nr. 1010. Bern: 64 S.

Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.) 2012: Auswirkungen von künstlichem Licht auf die Artenvielfalt und den Menschen, Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulats Moser 09.3285, 29. November 2012. Bern: 22 S.

Bundesamt für Umwelt BAFU und Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL (Hrsg.) 2013: Neue Ansätze zur Erfassung der Landschaftsqualität: Zwischenbericht Landschaftsbeobachtung Schweiz (LABES), Umwelt-Wissen Nr. 1325. Bern und Birmensdorf: 75 S.

Bundesamt für Umwelt BAFU und Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL (Hrsg.) 2017: Wandel der Landschaft: Erkenntnisse aus dem Monitoringprogramm Landschaftsbeobachtung Schweiz (LABES). Umwelt-Zustand Nr. 1641. Bern und Birmensdorf: 71 S.

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL, heute: Bundesamt für Umwelt BAFU) (Hrsg.) 2005: Empfehlungen zur Vermeidung von Lichtemissionen. Vollzug Umwelt Nr. 8010 (VU-8010-D). Bern: 37 S.

Bundesgericht (Hrsg.) 2014: SBB muss Bahnhofbeleuchtung reduzieren. Medienmitteilung des Bundesgerichts vom 23. April 2014. Lausanne: 2 S.

Buchanan, B. W., 1993: Effects of enhanced lighting on the behaviour of nocturnal frogs. In: Animal Behaviour 45(5): 893-899.

Grundlagenbericht: Ökologische Auswirkungen künstlicher Beleuchtung SWILD Zürich, Juni 2011

Group and Ecological consequenses of artificial night lighting (conference).

CIE 191:2010: Recommended System for Mesopic Photometry Based on Visual Performance. Commission International de l'Eclairage (CIE), Wien: 79 S.

Cieslik, T., 2010: Schattentheater. In: TEC21 – Schweizerische Bauzeitung, 136 (2010), espazium – Der Verlag für Baukultur, Zürich: 34-40.

Daouk, A., 2015: Lyon: Zwischen funktionaler und ästhetischer Beleuchtung. In: forum raumentwicklung 03/2015. Bundesamt für Raumentwicklung ARE, Bern: S. 30-33.

de Molenaar, J., Sanders, M., Jonkerrs, A., 2005: Road lighting and Grassland Birds: Local Influence of Road Lighting on a Black-Tailed Godwit Population. In: Rich, C. & Longcore, T. (Hrsg.): Ecological Consequences of artificial Night Lighting. Island Press, London: 114-136.

Debrot, L., 2015 : L'éclairage public : une question sociétale. Vortrag an der PUSCH-Tagung « Réduire les émissions lumineuses dans les communes » vom 10.11.2015. LAMPER – Agence suisse pour la protection de l'environnement nocturne, Fontainemelon.

Derrickson, K. C. (1988): Variation in repertoire presentation in northern mockingbirds. In: Condor 90: 592–606.

Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V. (LiTG) (Hrsg.) 2011: Empfehlungen für die Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen künstlicher Lichtquellen. 12.3. LiTG, Berlin: 34 S.

DIN 5032-7: Lichtmessung - Teil 7: Klasseneinteilung von Beleuchtungsstärke- und Leuchtdichtemessgeräten. DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: 3 S.

Eisenbeis, G., Hassel, F., 2000: Attraction of nocturnal insects to street lights – a study of municipal lighting systems in a rural area of Rheinhessen (Germany). In: Natur und Landschaft 75(4): 145-156.

Eisenbeis, G., 2005: Artificial Night Lighting and Insects: Attraction of Insects to Streetlamps in a Rural Setting in Germany. In: Rich, C. & Longcore, T. (Hrsg.): Ecological Consequences of artificial Night Lighting. Island Press, London: 281-304.

EnergieSchweiz (Hrsg.) 2015: Effiziente Beleuchtung im Haushalt. Bundesamt für Energie BFE. Bern: 24 S.

EnergieSchweiz (Hrsg.) 2016: Effiziente Strassenbeleuchtung mit LED. Bundesamt für Energie BFE. Bern: 24 S.

Ernst Basler und Partner EBP (Hrsg.) 2014: Skiinfrastrukturanlagen Urserntal / Oberalp, Detailprojekt Nr. 39 Lichtschutz, Bericht 39.1 vom 31.10.2014. Bericht im Auftrag der Andermatt-Sedrun Sport AG. Ernst Basler und Partner AG, Zollikon: 21 S.

Ernst Basler und Partner EBP (Hrsg.) 2016: Grundlagenbericht zur Aktualisierung der Vollzugshilfe zur Vermeidung unnötiger Lichtemissionen. Bericht im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU. Ernst Basler und Partner AG, Zollikon: 130 S.

Etter, U., 2015: Licht nach Bedarf im Interesse der Umwelt. In: Thema Umwelt 4/2015: Lichtemissionen reduzieren und Strom sparen. PUSCH – Praktischer Umweltschutz, Zürich: 20-21.

Europäische Landschaftskonvention, 2000: Europäisches Landschaftsübereinkommen (Deutsche Übersetzung), Florenz: 10 S.

Falchi, F., et al., 2016: The new world atlas of artificial night sky brightness. In: Science Advances 2016;2:e1600377: 25 S.

FGS Forschungs- und Planungsgruppe Stadt und Verkehr (Hrsg.) 2010: Konzept für die öffentliche Beleuchtung in Berlin. Beleuchtung und Verkehrssicherheit. FGS, Berlin: 48 S.

Frank, K., 1988: Impact of outdoor lighting on moths: An assessment. In: Journal of the Lepidopterists' Society 42(2): 63-93.

Frank, K., 2005: Effects of Artificial Night Lighting on Moths. In: Rich, C. & Longcore, T. (Hrsg.): Ecological Consequences of artificial Night Lighting. Island Press, London: 305-344.

Fussverkehr Schweiz (Hrsg.) 2015: Zu Fuss durch die Nacht. Eine Bestandesaufnahme der öffentlichen Beleuchtung. Fussverkehr Schweiz, Zürich: 23 S.

Gemeinde Balzers (Hrsg.) 2013: Reglement der Gemeinde Balzers für Reklameanlagen (4. März 2009, Revision 20. November 2013). Balzers: 6 S.

Gemeinde Köniz (Hrsg.) 2012: Reklamereglement (722.1, Stand vom 23.09.2012). Köniz: 21 S.

Gemeinde Thalwil (Hrsg.) 2015: Masterplan Licht: Kunstlicht im öffentlichen und privaten Aussenraum. (Finale Version, 6. Oktober 2015). Thalwil: 38 S.

Gronfier, C., 2015: Santé en jeu: Effets positifs et négatifs de la lumière chez l'homme. Vortrag an der PUSCH-Tagung « Réduire les émissions lumineuses dans les communes » vom 10.11.2015. Institut national de la santé et de la recherche médicale Inserm, Lyon.

Häder, D.-P., 2004: Nastien, endogene Rhythmen und Photoperiodismus. Photobiologie Vorlesung, 4. Kapitel. Lehrstuhl für Ökophysiologie an der Universität Erlangen, Nürnberg.

Haller, J., 2016: Zwischen Rush Hour und Nachtruhe: Verkehrsabhängige Regelung der Strassenbeleuchtung. In: Licht 11-12 2016. Pflaum Verlag, München: 34-37.

Haller, J., 2017: Daten Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (EKZ) . Schriftliche Hinweise vom 27. Februar 2017.

Held, M., Hölker, F., Jessel, B. (Hrsg.) 2013: Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft: Grundlagen, Folgen, Handlungsansätze, Beispiele guter Praxis. Bundesamt für Naturschutz, Bonn: 189 S.

Henninger, S., 2015: Protection de l'environnement et efficience énergétique. Vortrag an der PUSCH-Tagung « Réduire les émissions lumineuses dans les communes » vom 10.11.2015. Les Services industriels de Lausanne SiL, Lausanne.

Herfort, S., 2015: Luzern erstrahlt im rechten Licht. In: Thema Umwelt 4/2015: Lichtemissionen reduzieren und Strom sparen. PUSCH – Praktischer Umweltschutz, Zürich: 16-17.

Hönig, R., 2004: Plan Lumière: Stadtplanung in der Nacht. In: Hochparterre 17(2004). Hochparterre AG, Zürich: S. 20-22.

Humm, O., 2015: 10 Punkte für Gemeinden. In: Stadtlicht, Faktor Verlag, Zürich: 38-39.

Hungerbühler R., Morici, L., 2006: Soziologische Beobachtungen zur Wahrnehmung nächtlicher Landschaften. In: Zumthor, P., Beer, I., Mathieu, J. (Hrsg.): Wieviel Licht braucht der Mensch, um leben zu können, und wieviel Dunkelheit? vdf Hochschulverlag, Zürich: 162-184.

Jaeger, R. G., Hailman, J. P. (1973): Effects of intensity on the phototactic responses of adult anuran amphibians: a comparative survey. In: Z. Tierpsychol. 33: 352–407.

Kanton Schaffhausen (Hrsg.) 2014: Richtplan. Genehmigung durch den Bundesrat am 21. Oktober 2015. Objektblatt 6 Weitere Raumnutzungen. S. 151-152.

Kanton Thurgau (Hrsg.) 2009: Richtplan. Genehmigung durch den Bundesrat am 27. Oktober 2010. Objektblatt 1.1 Siedlungsgebiete: 4 S.

Kienast F., Frick J., Steiger U., 2013: Neue Ansätze zur Erfassung der Landschaftsqualität. Zwischenbericht Landschaftsbeobachtung Schweiz (LABES), Umwelt-Wissen Nr. 1325, Bundesamt für Umwelt, Bern und Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf: 75 S.

Klopfenstein, E., 2015: Eteindre complétement : comment faire ? Vortrag an der PUSCH-Tagung « Réduire les émissions lumineuses dans les communes » vom 10.11.2015. Municipalité de Corgémont.

Kobler, R. L., 2009: Lichtprojektionsverfahren aus Sicht der Eindämmung unnötiger Lichtemissionen (Lichtverschmutzung). Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW, Muttenz: 11 S.

Kolligs, D., 2000: Ecological effects of artificial light sources on nocturnally active insects, in particular on butterflies (Lepidoptera). In: Faunistisch-Oekologische Mitteilungen Supplement 28: 1-136.

Kostenzer, J., 2013: Leuchtende Hänge, lange Schatten – Nachtskilauf in Tirol. In: Held et. al. (Hrsg.): Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft: Grundlagen, Folgen, Handlungsansätze, Beispiele guter Praxis. Bundesamt für Naturschutz, Bonn: 177-180.

Le Tallec, T., 2014: Dossier «La pollution lumineuse». Internet: http://www.webdeveloppementdurable.com/dossier-la-pollution-lumineuse/, Bearbeitungsstand vom 30.06.2014 (abgerufen am 18.10.2016).

Lloyd, J., 2005: Stray Light, Fireflies and Firesflyers. In: Rich, C. & Longcore, T. (Hrsg.): Ecological Consequences of artificial Night Lighting. Island Press, London: 345-364.

Longcore, T., Rich, C., 2004: Ecological light pollution. In: Front Ecol Environ 2(4): 191-198.

Manville, A. M., 2000: The ABCs of avoiding bird collisions at communication towers: the next steps. Proceedings of the Avian Interactions Workshop, December 2, 1999, Charleston, SC. Electric Power Research Institute.

Matt, A., 2015: Nachtabschaltung in Liechtenstein. Schriftliche Hinweise vom 23. Juni 2015: 16 S.

Moore, M., Kohler, S., Cheers, M., 2005: Artificial Light at Night in Freshwater Habitats and Its Potential Ecological Effects. In: Rich, C. & Longcore, T. (Hrsg.): Ecological Consequences of artificial Night Lighting. Island Press, London: 365-384.

Morgan-Taylor, M., 2015: Global Approaches to the Regulation of Light Pollution. Vortrag an der ALAN 2015 vom 29.-31.05.2015 in Sherbrooke, Québec, Canada. De Montfort University, Leicester, UK (http://artificiallightatnight.weebly.com/uploads/3/7/0/5/37053463/morgan-taylor.pdf)

Moshammer, H. und Kundi, M., 2013: Medizinische Beurteilungsgrundlagen der Passiven Blendung – Version Dezember 2013. Institut für Umwelthygiene, Medizinische Universität Wien. Wien: 73 S.

Museum für Energiegeschichte(n) (Hrsg.) 2013: Licht an! Wie das Licht elektrisch wurde. Hannover: 12 S.

Nightingale, B., Longcore, T., Simenstad C., 2005: Artificial Night Lighting and Fishes. In: Rich, C. & Longcore, T. (Hrsg.): Ecological Consequences of artificial Night Lighting. Island Press, London: 257-276.

Perry, G., Fisher, R., 2005: Night Lights and Reptiles: Observed and Potential Effects. In: Rich, C. & Longcore, T. (Hrsg.): Ecological Consequences of artificial Night Lighting. Island Press, London: 169-191.

Rand, A. S., et al., 1997: Light levels influence female choice in Túngara frogs: predation risk assessment? In: Copeia1997: 447-50.

Raum und Wirtschaft (rawi), Kanton Luzern (Hrsg.) 2016: Richtlinien Reklameanlagen. Ausgabe April 2016. rawi, Luzern: 10 S.

Rechsteiner, M., Anderle, D., 2015: Erhebung der Lichtimmissionen in verschiedenen Beleuchtungssituationen. Bericht im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU. art light GmbH, St. Gallen: 30 S.

Ris, H. R., 2003: Beleuchtungstechnik für Praktiker. VDE Verlag GmbH, Berlin und Offenbach: 388 S.

Rydell, J., 2005: Bats and their Insect Prey at Streetlights. In: Rich, C. & Longcore, T. (Hrsg.): Ecological Consequences of artificial Night Lighting. Island Press, London: 43-60.

Schaub, A., 2014: UNIVOX Umwelt 2014. gfs-zürich, Markt- & Sozialforschung, Zürich: 38 S.

Schaub, A., 2015: UNIVOX Umwelt 2015. gfs-zürich, Markt- & Sozialforschung, Zürich: 43 S.

Schierz, C., 2009: Auswirkungen von Lichtimmissionen auf die Gesundheit und das Wohlbefinden des Menschen. Expertenbericht im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU. TU Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik. Ilmenau: 24 S.

Schmidt, J. A., 2007: Licht in der Stadt: Leitbilder und Strategien für innovative Lichtkonzepte. Konrad Adenauer Stiftung e. V., Sankt Augustin/Berlin: 43 S.

Schultze-Römer, N., 2013: Städtisches Nachtleben und nächtliches Stadtlicht – Alles unter Kontrolle? In: DAS ARCHIV 62. Magazin für Post- und Telekommunikationsgeschichte (2013), 3, Frankfurt am Main: 27-35.

Schweizer Licht Gesellschaft SLG (Hrsg.) 2015: Licht für die Schweiz: Lichtmarkt Schweiz - Analyse 2014. Bericht im Auftrag des Bundesamts für Energie BFE, Bern: 44 S.

Schweizerische Agentur für Energieeffizienz S.A.F.E. (Hrsg.) 2014: Strom im Aussenbereich – Eine Auslegeordnung. Bericht im Auftrag des Bundesamts für Energie BFE, Zürich: 26 S.

Schweizerische Kriminalprävention SKP (Hrsg.) 2014: Riegel vor! 7 Tipps, wie Sie Ihr Heim gegen Einbrecher schützen sollten. SKP, Bern: 20 S.

Schweizerische Normenvereinigung (SNV) 2013: Normung und Recht – der rechtliche Status von Normen. SNV, Winterthur: 8 S.

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (Hrsg.) 2015: Stadtbild Berlin – Lichtkonzept – Handbuch. Berlin: 75 S.

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt (Hrsg.) 2014: Stadtbild Berlin – Werbekonzept. Berlin: 110 S.

SLG 202:2016: Richtlinien – Öffentliche Beleuchtung: Strassenbeleuchtung – Ergänzungen zu SNR 13201-1 und SN EN 13201-2 bis -5. Schweizer Licht Gesellschaft SLG, Olten: 33 S.

SLG 301:2013: Richtlinien – Beleuchtung von Sportanlagen: Teil 1 – Grundlagen, allgemein. Schweizer Licht Gesellschaft SLG, Bern: 32 S.

SLG 302:2015: Richtlinien – Beleuchtung von Sportanlagen: Teil 2 – Beleuchtung von Fussballfeldern und Stadien für Fussball und Leichtathletik. Schweizer Licht Gesellschaft SLG, Bern: 14 S.

SN 586 491:2013 (SIA 491): Vermeidung unnötiger Lichtimmissionen im Aussenraum. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), Zürich:

SN EN 12193:2008: Licht und Beleuchtung – Sportstättenbeleuchtung. Schweizerische Normen-Vereinigung (SNV), Winterthur: 41 S.

SN EN 12464-2:2014: Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 2: Arbeitsplätze im Freien. SNV Schweizerische Normen-Vereinigung, Winterthur: 32 S.

SN EN 13201-2:2016: Strassenbeleuchtung – Teil 2: Gütemerkmale. Schweizerische Normen-Vereinigung (SNV), Winterthur: 22 S.

SN EN 13201-3:2016: Strassenbeleuchtung – Teil 3: Berechnung der Gütemerkmale. Schweizerische Normen-Vereinigung (SNV), Winterthur: 64 S.

SN EN 13201-4:2016: Strassenbeleuchtung – Teil 4: Methoden zur Messung der Gütemerkmale von Strassenbeleuchtungsanlagen. Schweizerische Normen-Vereinigung (SNV), Winterthur: 55 S.

SN EN 13201-5:2016: Strassenbeleuchtung – Teil 5: Energieeffizienzindikatoren. Schweizerische Normen-Vereinigung (SNV), Winterthur: 31 S.

SNR 13201-1:2016: Strassenbeleuchtung – Teil 1: Leitfaden zur Auswahl der Beleuchtungsklassen. Schweizerische Normen-Vereinigung (SNV), Winterthur: 22 S.

Sordello, R., 2011: Six propositions pour réduire les nuisances lumineuses sur la biodiversité dans les espaces naturels. Rapport du Muséum National d'Histoire Naturelle, Service du Patrimoire naturelle n° 22, Paris: 9 S.

Soukup, M., 2012: Wolkenkratzer als Vogeltöter. In: Tages-Anzeiger vom 22. Oktober 2012, S. 3.

Stadt Bern (Hrsg.) 2009: Richtlinien für die Beleuchtung öffentlicher Aussenräume. Beschluss des Gemeinderats der Stadt Bern vom 1. Juli 2009: 5 S.

Stadt Luzern (Hrsg.) 2006: Plan Lumière – Das Beleuchtungskonzept für die Stadt Luzern. Luzern: 102 S.

Stadt Luzern (Hrsg.) 2008: Reglement über die Kunstlichtanlagen auf Stadtgebiet (Kunstlichtreglement). Beschluss des Grossen Stadtrats von Luzern vom 15. Mai 2008: 4 S.

Stadt Luzern (Hrsg.) 2010a: Allgemeinbeleuchtung: Empfehlungen und Richtlinien für die Stadt Luzern. Stadtrat Luzern: 8 S.

Stadt Luzern (Hrsg.) 2010b: Kommerzielles Licht: Empfehlungen und Richtlinien für die Stadt Luzern. Stadtrat Luzern: 6 S.

Stadt Zürich (Hrsg.) 2004: Plan Lumière Zürich – Gesamtkonzept. Zürich: 161 S.

Stadt Zürich (Hrsg.) 2007: Lichtblicke für eine ökologische Stadtbeleuchtung. Amt für Städtebau und Grün Stadt Zürich: 8 S.

Stadtrat Chur (Hrsg.) 2008: Reklamereglement (614, Stand vom 1.1.2012). Stadt Chur: 5 S.

Stiftung Fledermausschutz (Hrsg.) 2015: Effekte künstlicher Beleuchtung auf Fledermäuse und Massnahmen. Merkblatt (Stand: 16. Januar 2015). Zürich: 2 S.

Strahlenschutzkommission (SSK) (Hrsg.) 2006: Blendung durch natürliche und neue künstliche Lichtquellen und ihre Gefahren. Empfehlungen der Strahlenschutzkommission. Bonn: 29 S.

Strassmann, B., 2002: Mörderischer Mond. In: Die Zeit vom 18. Dezember 2002, 52/2002.

Summers, C. G., 1997: Phototactic behavior of Bemisia argentifolii (Homoptera: Aleyrodidae) crawlers. In: Annals of the Entomological Society of America 90(3): 372-379.

SWILD (Hrsg.) 2011: Ökologische Auswirkungen künstlicher Beleuchtung (Grundlagenbericht, zweite aktualisierte Zusammenstellung), SWILD – Stadtökologie, Wildtierforschung, Kommunikation. Zürich 120 S.

Sydney, A., Gauthreaux, J., Besler, G., 2005: Effects of Artificial Night Lighting on Migrating Birds. In: Rich, C. & Longcore, T. (Hrsg.): Ecological Consequences of artificial Night Lighting. Island Press, London: 67-93.

Thews, G., Mutschler, E., Vaupel, P., 1991: Anatomie, Physiologie, Pathophysiologie des Menschen. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft; Stuttgart: 689 S.

Tiefbauamt des Kantons Bern (Hrsg.) 2015a: Öffentliche Beleuchtung an Kantonsstrassen – Richtlinie (Ausgabe: 19.06.2015). Bern: 40 S.

Tiefbauamt des Kantons Bern (Hrsg.) 2015b: Licht nach Bedarf: 3-mal sparen mit intelligent gesteuerter LED-Strassenbeleuchtung – Wettbewerbsdossier Prix Excellence. Bern: 10 S.

Topstreetlight.ch (Hrsg.) 2015: Intelligente Systeme – Empfehlungen für Gemeindebehörden und Beleuchtungsbetreiber. Topten, Zürich: 4 S.

Tschanz, K., 2015: Beurteilung von Beleuchtungen und Lichtbeschwerden – Einblick in den kommunalen «Vollzugsalltag». Vortrag an der Fachtagung «Licht und Lichtverschmutzung: Mehr Konzepte – weniger Konflikte?» der Organisation Kommunale Infrastruktur OKI vom 24.11.2015. Umwelt- und Gesundheitsschutz, Stadt Zürich.

Ulmann, P. P., 2015: Licht und Beleuchtung. Handbuch und Planungshilfe. DOM publishers, Berlin: 410 S.

Wise, S., Buchanan, B., 2005: Influence of Artificial Illumination on the Nocturnal Behaviour and Physiology of Salamanders. In: Rich, C. & Longcore, T. (Hrsg.): Ecological Consequences of artificial Night Lighting. Island Press, London: 221-251.

Wüthrich, F. (2001): Stress für Mensch und Tier. Macht das Licht aus! In: natur&kosmos, 2001(2).