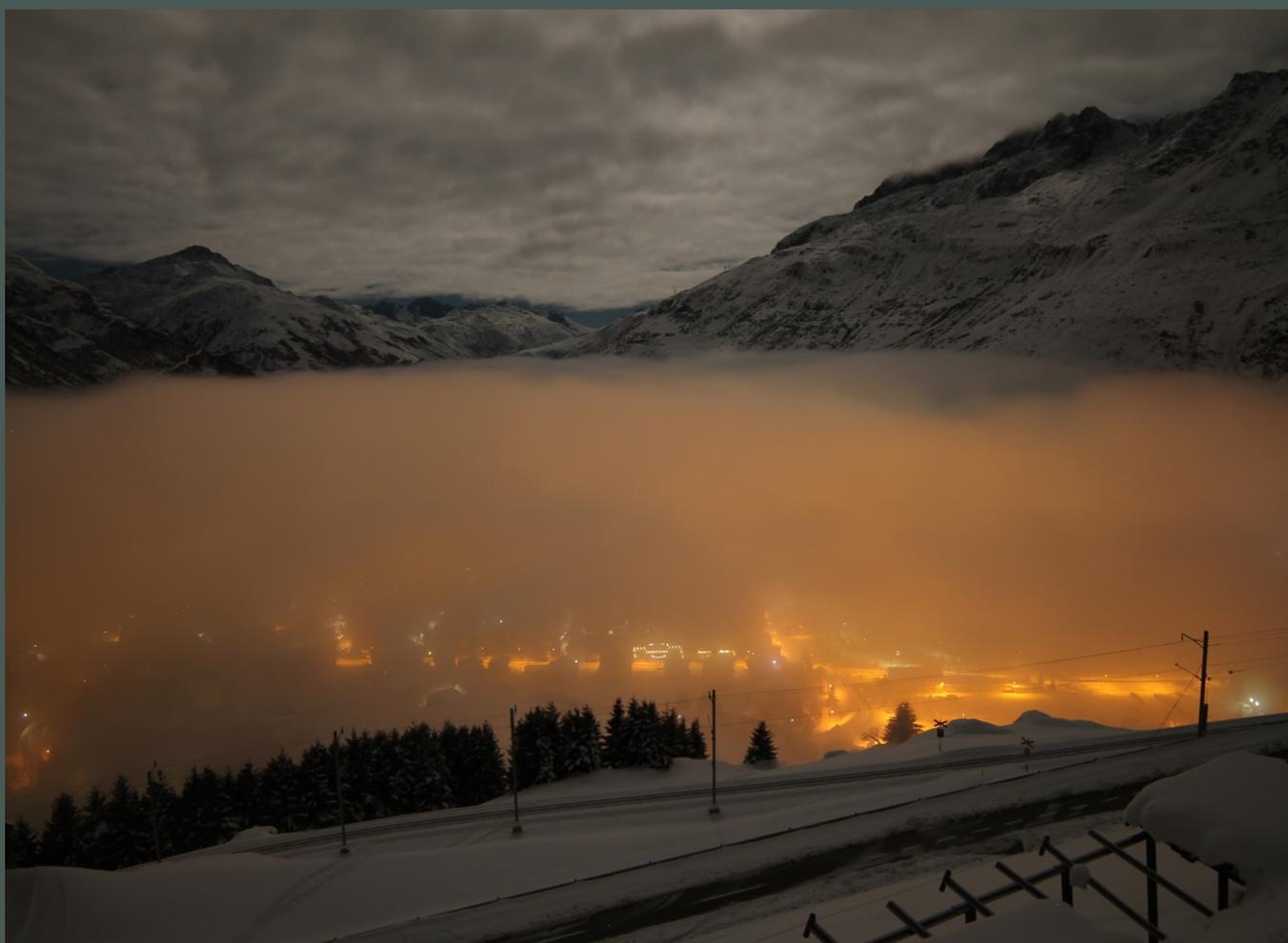


Recommandations pour la prévention des émissions lumineuses

État 2021



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement OFEV

Recommandations pour la prévention des émissions lumineuses

État 2021

Impressum

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 les exigences découlant du droit environnemental fédéral eu égard à des notions juridiques indéterminées et à leur étendue ainsi qu'en ce qui concerne l'exercice du pouvoir discrétionnaire. L'objectif ce faisant est de favoriser 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.

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).

Auteurs

Alexander Reichenbach (division Bruit et RNI, OFEV), Danielle Breitenbücher (division Droit, OFEV), Christopher Gerpe (division Biodiversité et paysage, OFEV), Danielle Hofmann (division Biodiversité et paysage, OFEV), Jürg Minger (Federas Beratung AG), Jennifer Vonlanthen (division Droit, OFEV)

Avec la collaboration antérieure de :

Jürg Baumann (division Bruit et RNI, OFEV), Saskia Bourgeois (division Bruit et RNI, OFEV), Julius Nötzli (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 (jusqu'en 2020), Maximilian Schubiger (Office fédéral du sport OFSPO), Kurt Bisang (Office fédéral de l'énergie OFEN), 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), Odile Bruggisser (Amt für Raumplanung Kanton Solothurn, représentante de la Conférence des délégués à la protection de la nature et du paysage CDPNP), Valentin Delb (Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft AWEL, canton de Zurich), Marcel Mössner (Lufthygieneamt beider Basel)

Villes et communes

Daniel Lehmann Pollheimer (Association suisse Infrastructures communales ASIC)

Référence bibliographique

OFEV (éd.) 2021 : Recommandations pour la prévention des émissions lumineuses. 1^{re} édition révisée 2021. Première édition 2005. Office fédéral de l'environnement, Berne. L'environnement pratique n° 2117 : 174 p.

Mise en page

Cavelti AG, Marken. Digital und gedruckt, Gossau

Photo de couverture

Suivi des émissions lumineuses à Andermatt : photographie nocturne prise le 14 novembre 2016 à 3h (cliché automatique).
© Amt für Umweltschutz Uri / inNET Monitoring AG

Téléchargement au format PDF

www.bafu.admin.ch/uv-2117-f

Il n'est pas possible de commander une version imprimée.

Cette publication est également disponible en allemand et italien. La langue originale est l'allemand.

1^{re} édition actualisée 2021, première édition 2005

© OFEV 2021

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 → Point 1.2, tableau 1
- Sources d'émissions lumineuses artificielles durant la journée → Point 1.2, tableau 2
- Émissions et immissions → Point 1.3, figure 1
- Conflits d'objectifs et synergies : → Annexe A2
 - Sport, tourisme et éclairages publicitaires → A2.1 ; A2.2
 - Sécurité (sécurité routière, criminalité, sentiment subjectif de sécurité) → A2.3
- Diodes électroluminescentes (LED) → A2.4
- Efficacité énergétique → A2.5

Conséquences des émissions lumineuses pour :

- l'être humain → A1.1
- la nature (faune, flore et milieux naturels) → A1.2
- le paysage nocturne → A1.3

Aspects juridiques et exécution :

- Vue d'ensemble des dispositions du droit fédéral → A3.2
- Explications juridiques complètes → A3
- Normes (suisses et étrangères) → A3.4
- Installations d'éclairage soumises à autorisation → Point 7.3
- Installations d'éclairage non soumises à autorisation → Point 7.4
- Traitement des réclamations → Point 7.6

Limitation des émissions lumineuses dans la nuit :

- Plan en 7 points visant à limiter les émissions lumineuses → Chap. 3, figure 2
- Explications relatives au plan en 7 points (mesures générales) → Point 3.3
- Appréciation de l'impact des émissions lumineuses d'une installation et de la nécessité de mesures préventives (matrice d'impact) → Chap. 4, figure 3
- Plans d'éclairage (plans Lumière) → A4
- Mesures spécifiques concernant :
 - Éclairage public → A5.1
 - Éclairage des gares → A5.2
 - Infrastructures sportives → A5.3
 - Éclairage pour l'industrie et les entreprises (travail à l'extérieur) → A5.4
 - Balisage lumineux des obstacles à la navigation aérienne → A5.5
 - Places publiques → A5.6
 - Bâtiments et installations publics → A5.7
 - Éclairages publicitaires → A5.8
 - Bâtiments et installations privés, illuminations de Noël → A5.9
 - Éclairages dans l'espace naturel → A5.10

Évaluation de l'effet incommode des immissions lumineuses pour l'être humain (valeurs indicatives) :

- Sensibilité des alentours (zones environnantes) → Chap. 5
- Illumination des locaux → Point 4.4, tableau 4
- Éblouissement incommode durant la nuit → Point 5.2
- Point 5.3

Limitation des émissions lumineuses durant la journée :

- Réflexion de la lumière du soleil sur des surfaces artificielles → Chap. 6
- Modification artificielle de la lumière du soleil par les pales d'une éolienne → Point 6.1
- Point 6.2

Glossaire : termes techniques

→ A7

Table des matières

<u>Abstracts</u>	7		
<u>Avant-propos</u>	8		
<u>1 Introduction : la lumière artificielle dans l'environnement</u>	9		
1.1 Contexte	9		
1.2 Sources lumineuses	10		
1.3 Diffusion de la lumière	11		
1.4 Bases légales	13		
<u>2 But et application de l'aide à l'exécution</u>	14		
2.1 But	14		
2.2 Destinataires	14		
2.3 Champ d'application	15		
2.4 Les installations au sens de la LPE	15		
<u>3 Recommandations pour la limitation des émissions lumineuses pendant la nuit</u>	17		
3.1 Principes (plan en 7 points)	17		
3.2 Applicabilité des principes (plan en 7 points)	19		
3.3 Remarques relatives à la mise en œuvre	19		
<u>4 Appréciation de l'impact des émissions lumineuses d'une installation et de la proportionnalité de mesures préventives</u>	25		
4.1 Critères	25		
4.2 Matrice d'impact	25		
4.3 Émissions lumineuses vers les espaces extérieurs	26		
4.4 Sensibilité des alentours	28		
4.5 Proportionnalité des mesures préventives	30		
<u>5 Recommandations concernant l'évaluation de l'effet incommode des immissions lumineuses pour l'être humain (appréciation du cas individuel au moyen de valeurs indicatives)</u>	31		
5.1 Généralités	31		
5.2 Valeurs indicatives pour l'illumination indésirable de locaux d'habitation	32		
5.3 Valeurs indicatives pour l'éblouissement incommode durant la nuit	36		
5.4 Application des valeurs indicatives et marge discrétionnaire lors de l'évaluation de l'effet incommode dans les cas particuliers	40		
<u>6 Recommandations concernant la limitation des émissions lumineuses durant la journée</u>	41		
6.1 Réflexion de la lumière du soleil	41		
6.2 Effets des éoliennes sur la lumière	47		
<u>7 Procédure</u>	50		
7.1 Répartition des compétences	50		
7.2 Plans directeurs et plans d'affectation	50		
7.3 Procédure d'autorisation	51		
7.4 Installations d'éclairage non soumises à autorisation	55		
7.5 Légitimation des riverains à faire opposition ou à déposer une réclamation	55		
7.6 Démarche en cas de réclamations et de contrôles d'office	56		
<u>Annexe 58</u>			
<u>A1 Conséquences des émissions lumineuses</u>	58		
A1.1 Conséquences pour l'être humain	58		
A1.2 Effets sur la nature	59		
A1.3 Conséquences pour le paysage nocturne	71		
<u>A2 Conflits d'objectifs et synergies</u>	73		
A2.1 Sport et tourisme	73		
A2.2 Éclairages publicitaires	74		
A2.3 Sécurité	75		
A2.4 Diodes électroluminescentes (LED) dans l'éclairage extérieur	80		
A2.5 Efficacité énergétique grâce à une gestion intelligente de l'éclairage public	83		
<u>A3 Cadre légal</u>	86		
A3.1 Généralités	86		
A3.2 Bases légales de la Confédération	86		
A3.3 Réglementations cantonales et communales	91		
A3.4 Normes et recommandations	92		

A4	Plans d'éclairage et concepts de grande	
	envergure	100
A4.1	Généralités	100
A4.2	Plans d'éclairage	101

A5	Mesures spécifiques à diverses situations et	
	installations d'éclairage	109
A5.1	Infrastructures de transport routier (éclairage public)	109
A5.2	Autres infrastructures de transport (gares, arrêts de transports publics, etc.)	119
A5.3	Infrastructures sportives	121
A5.4	Installations industrielles, chantiers et lieux de travail extérieurs	127
A5.5	Balisage lumineux des obstacles à la navigation aérienne	129
A5.6	Espaces et places publics	131
A5.7	Bâtiments et objets publics	134
A5.8	Éclairages publicitaires	140
A5.9	Bâtiments et installations privés, illuminations de Noël	145
A5.10	Éclairages en milieu naturel	151

A6 **Remarques relatives aux valeurs indicatives**
concernant l'évaluation de l'effet incommode pour l'être
humain 156

A6.1	Remarques complémentaires relatives à l'évaluation de l'illumination des locaux d'habitation durant la phase de repos nocturne (22 h à 6 h)	156
A6.2	Remarque complémentaire concernant l'évaluation de l'illumination des locaux d'habitation en dehors de la période de repos nocturne	157
A6.3	Remarques complémentaires concernant l'évaluation de l'éblouissement incommode	158

A7 **Glossaire** **160**

A8 **Bibliographie** **163**

Crédits photographiques **173**

Abstracts

Artificial light emissions in Switzerland have more than doubled over the last 25 years, as areas with natural night skies continue to shrink. This can lead to habitat loss for nocturnal animals, which in turn limits their areas of activity and reduces their food supply. People too are experiencing increasing disruption to their well-being, which has even resulted in cases being brought before the Federal Supreme Court. These guidelines are intended to help limit light emissions in accordance with legislation such as the Environmental Protection Act (EPA) and the Nature and Cultural Heritage Act (NCHA). To this end, they should enable those involved in the planning, evaluation, approval and operation of lighting to take the measures required to avoid or minimise light emissions.

Les émissions lumineuses artificielles en Suisse ont plus que doublé au cours des 25 dernières années. Le paysage nocturne naturel est relégué à des espaces toujours plus restreints. Il en résulte que le milieu naturel des animaux nocturnes peut se trouver morcelé, réduisant leur rayon d'action et l'offre de nourriture. Le bien-être de l'être humain en souffre également dans une mesure croissante, ce qui a mené à des actions en justice jusque devant le Tribunal fédéral. La présente aide à l'exécution doit contribuer à limiter les émissions lumineuses dans l'esprit de la loi sur la protection de l'environnement (LPE), de la loi sur la protection de la nature et du paysage (LPN) et d'autres actes législatifs. Elle doit permettre aux différentes personnes participant à la planification, à l'évaluation, à l'octroi d'autorisations et à l'exploitation d'installations lumineuses de prendre les mesures qui s'imposent afin d'éviter ou de réduire ces émissions.

Künstliche Lichtemissionen haben sich in der Schweiz in den letzten 25 Jahren mehr als verdoppelt. Die natürlich dunkle Nachtlandschaft wird auf immer kleinere Bereiche zurückgedrängt. Der Lebensraum von nachtaktiven Tieren kann zerschnitten, ihr Aktionsradius eingeschränkt und das Nahrungsangebot reduziert werden. Menschen werden zunehmend in ihrem Wohlbefinden gestört, was bis zu Klagen vor Bundesgericht führt. Die vorliegende Vollzugshilfe soll dazu beitragen, Lichtemissionen im Sinne des Umweltschutzgesetzes (USG), des Natur- und Heimatschutzgesetzes (NHG) und weiterer Erlasse zu begrenzen. Zu diesem Zweck soll sie die in die Planung, die Beurteilung, die Bewilligung oder den Betrieb von Beleuchtungen involvierten Akteure befähigen, die notwendigen Massnahmen zur Vermeidung oder Verminderung von Lichtemissionen zu treffen.

Negli ultimi 25 anni, in Svizzera, le emissioni di luce artificiale sono più che raddoppiate. Il paesaggio notturno naturalmente buio viene confinato in aree sempre più ridotte. Di conseguenza, lo spazio vitale di animali notturni può essere frammentato, il loro raggio d'azione limitato e l'offerta di cibo ridotta. Il benessere delle persone è sempre più perturbato, dando origine a cause che finiscono davanti al Tribunale federale. Il presente aiuto all'esecuzione ha lo scopo di aiutare a limitare le emissioni luminose ai sensi della legge sulla protezione dell'ambiente (LPAmb), della legge sulla protezione della natura e del paesaggio (LPN) e di altri atti normativi. A tal fine, deve consentire agli attori coinvolti nella pianificazione, nella valutazione, nell'autorizzazione o nell'esercizio di impianti di illuminazione di adottare le misure necessarie per prevenire o ridurre le emissioni luminose.

Keywords:

Light pollution, lighting, limitation of light emissions

Mots-clés:

Pollution lumineuse, éclairages, limitation des émissions lumineuses

Stichwörter:

Lichtverschmutzung, Beleuchtungen, Begrenzung Lichtemissionen

Parole chiave:

inquinamento luminoso, illuminazioni, limitazione delle emissioni luminose

Avant-propos

L'invention de la lumière électrique a permis d'exercer des activités, travail ou loisirs, à toute heure du jour ou de la nuit. La société des 24 heures s'est installée non seulement dans les espaces urbains, mais a aussi gagné progressivement les régions rurales, ce qui va inévitablement de pair avec une augmentation des émissions lumineuses. Mais trop de lumière au mauvais endroit et à la mauvaise heure compromet le bien-être des humains et dérange les animaux nocturnes, perturbe l'obscurité naturelle de la nuit et rend difficile l'observation du ciel étoilé.

Notre office a publié en 2005 ses premières « Recommandations pour la prévention des émissions lumineuses ». Entre temps, la technique des diodes électroluminescentes (light-emitting diode, LED) s'est imposée, des améliorations ont été apportées aux détecteurs de mouvement et les options électroniques de gestion de l'éclairage ont été perfectionnées. Ces technologies permettent une utilisation de la lumière plus ciblée et mieux adaptée aux besoins. Elles peuvent en conséquence contribuer à réduire les émissions lumineuses indésirables ainsi que la consommation d'énergie.

Compte tenu de la haute efficacité énergétique des ampoules LED, il faut cependant veiller à ce que cela ne débouche pas sur une augmentation de l'éclairage, ce qui serait contraire au principe de réduction des émissions. En outre, le spectre de cette lumière est différent de celui des sources lumineuses classiques, l'avantage concret étant que les couleurs sont mieux visibles. Mais ce spectre plus large n'a pas que des avantages : la plus grande part de lumière bleue peut influencer sur l'horloge interne et donc sur le rythme diurne/nocturne naturel, aussi bien de l'être humain que des animaux. La composition spectrale de la lumière artificielle joue également un rôle important dans l'attraction qu'elle exerce sur les insectes.

À l'instar de toutes les nouveautés technologiques, les nouveaux éclairages ne réduisent pas automatiquement les conséquences négatives pour l'être humain et pour l'environnement. C'est là qu'intervient la présente aide à l'exécution. Sa partie générale contient des recommandations et des instruments, tels que le plan en 7 points et la matrice d'impact pour les mesures de limitation des émissions lumineuses. Par ailleurs, des valeurs indicatives y sont proposées pour évaluer l'effet perturbateur pour l'être humain ainsi que des suggestions sur la manière de procéder pour l'examen de la compatibilité d'installations lumineuses avec l'environnement. Les émissions lumineuses ne peuvent toutefois être réduites que si les mesures sont bel et bien mises en œuvre. C'est pourquoi l'annexe contient des exemples concrets de différentes situations et installations d'éclairage ainsi que des idées sur la manière de procéder lors de la conception de telles installations.

Trouver le juste équilibre entre éclairage et obscurité est une entreprise délicate et plusieurs acteurs doivent travailler ensemble. Nous espérons que la présente aide à l'exécution contribuera à l'utilisation de la lumière au bon endroit, au bon moment, dans l'intensité et le spectre optimaux, et que cela permettra à l'obscurité de gagner à nouveau du terrain pendant la nuit afin que les animaux nocturnes retrouvent leur milieu naturel et que l'être humain puisse apprécier à nouveau plus intensément le paysage nocturne et le ciel étoilé, et dormir un peu plus profondément.

Paul Steffen, sous-directeur
Office fédéral de l'environnement (OFEV)

1 Introduction : la lumière artificielle dans l'environnement

1.1 Contexte

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 des façades en verre ou des installations photovoltaïques. Cette évolution a même mené à l'ouverture d'actions devant le Tribunal fédéral. Les nouvelles technologies d'éclairage permettant d'atteindre de plus fortes intensités lumineuses à moindres coûts, le problème n'a fait qu'empirer ces dernières années. En Suisse, les émissions lumineuses dirigées et reflétées vers le ciel ont ainsi plus que doublé au cours du dernier quart de siècle (voir annexe A1.3).

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

L'obscurité naturelle constitue en outre un élément important de la qualité de vie. La lune et les étoiles confèrent à l'observateur ou l'observatrice des impressions très différentes du paysage, en comparaison avec la lumière du soleil ou l'éclairage artificiel. L'augmentation des émissions lumineuses relègue le paysage nocturne naturel à des espaces toujours plus restreints et seule une infime partie des étoiles est encore visible la nuit.

Ces dernières années, alors que les tribunaux prenaient différentes décisions relevant du droit de l'environnement, de nouvelles normes ont été publiées pour l'éclairage extérieur. En outre, de nombreuses innovations permettent aujourd'hui 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 et qu'il n'est pas encore possible d'évaluer entièrement leurs futurs impacts sur la nature et sur l'être humain. La présente aide à l'exécution se veut une contribution à la réduction de la pollution lumineuse et à la restitution de l'obscurité nocturne, pour le bien de l'être humain et de la nature.

1.2 Sources lumineuses

L'invention de la lumière électrique a permis d'abord de travailler, puis de pratiquer des activités de loisir à toute heure du jour ou de la nuit et pratiquement partout. Peu à peu, elle a abouti à un éclairage généralisé dans les villes et le long des voies de communication. L'orientation à l'extérieur s'en est trouvée améliorée ainsi que, ponctuellement, la sécurité routière et le sentiment de sécurité la nuit. Avec le temps, des dispositifs d'éclairage destinés à certains équipements ou biens de consommation sont apparus, tout comme des installations mettant 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 de lumière artificielle dans l'environnement. Il indique quels chapitres décrivent les mesures de réduction des émissions lumineuses superflues.

Outre l'éclairage nocturne, la lumière du soleil modifiée par la construction ou l'exploitation d'installations peut aussi être considérée comme une atteinte nuisible ou incommode entrant dans le champ d'application de la loi sur la protection de l'environnement. 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 : <ul style="list-style-type: none"> • les routes, les giratoires, les chemins, les passages piétons ; • les zones piétonnes, les chemins pédestres 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.). 	→ Annexe A5.1 → sécurité routière : A2.3.2 La signalétique n'est pas traitée dans l'aide à l'exécution
Éclairage d'autres infrastructures de transport, telles que : <ul style="list-style-type: none"> • les gares, les arrêts de transports publics ; • les aéroports, les aérodromes. 	→ Annexe A5.2
Éclairage d'infrastructures sportives : <ul style="list-style-type: none"> • en zone bâtie : p. 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 : p. ex. pistes de ski alpin, de ski de fond ou de luge, parcours de jogging en forêt, itinéraires de kayak, manèges extérieurs, etc. 	→ Annexe A5.3 → Annexe A5.3.2 → Annexe A5.3.3
Éclairage pour l'industrie et les entreprises (travail à l'extérieur) ; p. ex. : <ul style="list-style-type: none"> • les aires industrielles telles que les gares de marchandises, gares de triage, dispositifs de chargement, rampes, sites d'entrepôt et installations éclairées par des projecteurs, par exemple pour le commerce de véhicules ; • les bâtiments industriels et les bâtiments d'autres entreprises, tels que les 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 c. la lumière qui s'en échappe) ; • les serres ; • les hôpitaux ; • les chantiers nocturnes (y compris les machines de chantier). 	→ Annexe A5.4
Éclairage de bâtiments et installations publics, tels que : <ul style="list-style-type: none"> • les bâtiments historiques, les monuments, les églises (éclairage des façades) ; • les bâtiments administratifs, les écoles ; • les places publiques, les zones de rencontre ; • les parcs urbains. 	→ Annexe A5.7 → Annexe A5.7.3 → Annexe A5.7.4 → Annexe A5.6

Catégories d'éclairage et exemples	Indications supplémentaires
<p>Les éclairages publicitaires ou liés à des événements, p. ex. :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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) ; • les installations lumineuses à prétention artistique ; • les façades média ou écrans (permanents). 	→ Annexe A5.8
<p>Éclairage de bâtiments et installations privés, p. ex. :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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. 	→ Annexe A5.9 → Annexe A5.9.2
<p>Réglementation de l'éclairage dans la nature / d'objets naturels, p. ex. :</p> <ul style="list-style-type: none"> • les sommets de montagnes ; • les berges, étangs, cascades ; • les arbres, buissons. 	→ Annexe A5.10

Tableau 2

Sources d'émissions lumineuses artificielles durant la journée

Catégories et exemples	Indications supplémentaires
<p>Réflexion de la lumière du soleil sur des surfaces artificielles telles que :</p> <ul style="list-style-type: none"> • les façades en verre ; • les revêtements métalliques ; • les vitres ; • les installations photovoltaïques ; • les capteurs solaires. 	→ Point 6.1
<p>Modification de l'effet naturel du soleil liée à l'exploitation d'installations, telle que :</p> <ul style="list-style-type: none"> • la projection périodique d'une ombre ou « scintillement » artificiel créé par la rotation des pales d'une éolienne. 	→ Point 6.2

1.3 Diffusion de la lumière

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

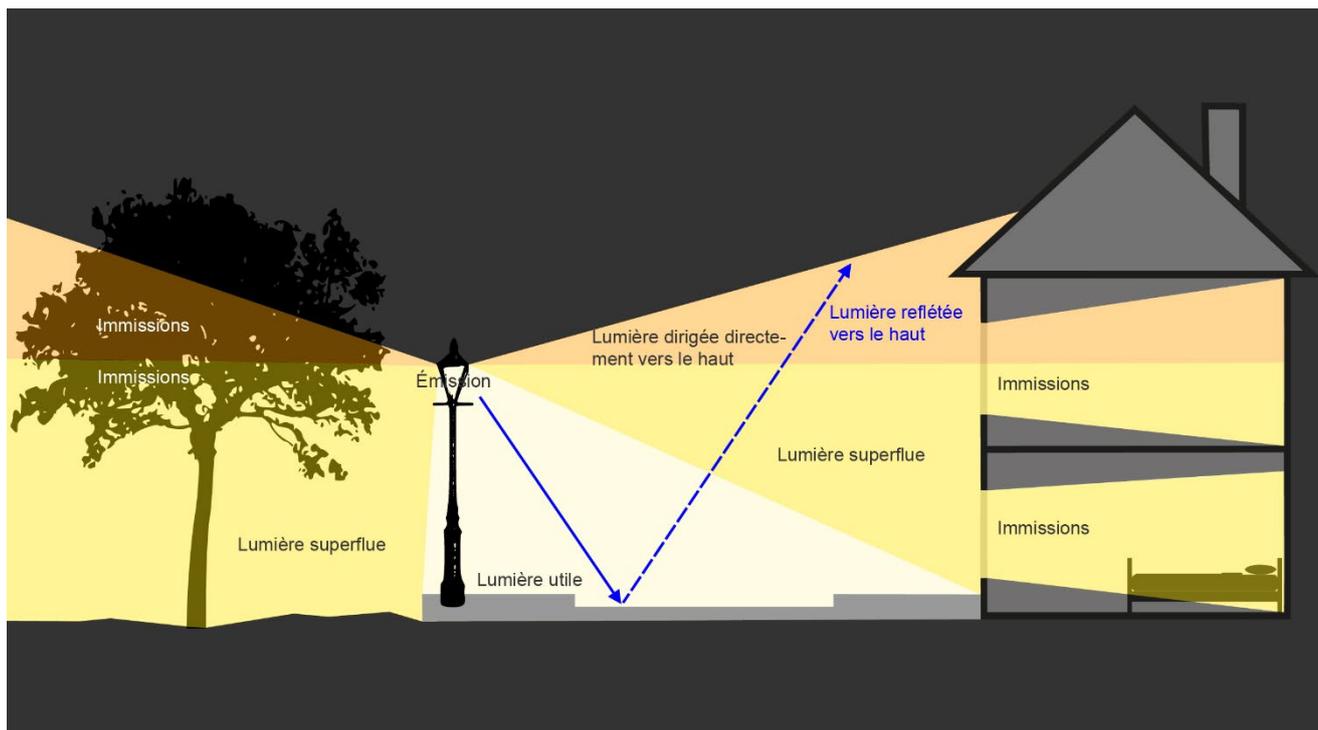
- Par *émissions*, on entend l'ensemble de la lumière diffusée par une source (un lampadaire, p. ex.). Dans le cas idéal, cette lumière sert entièrement au but d'éclairage prévu.
- Par *immissions*, on entend la lumière qui parvient en un lieu (p. ex. un logement, un arbre) ; elle peut provenir d'une ou de plusieurs sources. Sur sa trajectoire, la lumière peut être amoindrie ou entièrement arrêtée par des obstacles.

Selon la configuration de la lampe, une partie des émissions va directement dans le ciel ou éclaire des surfaces à côté de celles qui sont visées. Il s'agit d'émissions qualifiées d'inutiles et qu'il faut veiller à éviter autant que possible.

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).



La portée de la lumière varie en fonction de son orientation et de son intensité :

- **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 annexe A1.3).
- **Portée régionale** : la lumière orientée ou réfléchie vers le haut peut former, spécialement en cas de brouillard, un dôme lumineux au-dessus d'une ville ou d'une agglomération. Cette illumination perceptible à l'échelon régional peut attirer des oiseaux migrateurs et les dévier de leur itinéraire (voir annexe A1.2.2).
- **Portée locale** : lorsqu'il en va de la gêne ressentie par l'être humain, ce sont généralement les immissions locales qui sont déterminantes, par exemple de la lumière arrivant directement dans une pièce d'habitation (voir annexe A1.1). Une illumination peut également avoir des conséquences pour la faune et la flore, même si elle ne concerne qu'une petite surface. Des lampes isolées suffisent par exemple à attirer des insectes (voir annexe A1.2.2).

Outre l'intensité de la lumière artificielle, sa composition spectrale (p. ex. ses composantes ultraviolette et bleue) s'avère déterminante pour les conséquences sur l'environnement et sur l'être humain. Il en va de même de la durée, du moment (de la journée, de l'année), de la périodicité des sources de lumière variables ainsi que de leur orientation. Un rôle non négligeable revient enfin aux caractéristiques des alentours où se produisent les immissions.

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.

1.4 Bases légales

Les émissions lumineuses qui parviennent dans l'environnement du fait de la construction et de l'exploitation d'installations tombent sous le coup de la loi sur la protection de l'environnement (*LPE ; RS 814.01*), qui protège les hommes, les animaux et les plantes, leurs biocénoses et leurs biotopes contre les atteintes nuisibles ou incommodantes (art. 1, al. 1, LPE). Les installations d'éclairage, fixes ou mobiles, doivent par conséquent respecter la limitation préventive des émissions et ne pas avoir de répercussions nuisibles ou incommodantes (voir annexe A3.2.1). Les dispositions de la LPE à ce sujet n'ont pas été précisées dans une ordonnance.

Si la pollution lumineuse affecte des milieux naturels ou des habitats dignes de protection abritant des groupes d'animaux sensibles à la lumière, les exigences formulées dans les textes législatifs suivants doivent être respectées : loi fédérale sur la protection de la nature et du paysage (*LPN ; RS 451*), loi sur la chasse (*LChP ; RS 922.0*) ou loi fédérale sur la pêche (*LFSP ; RS 923.0*) (voir annexe A3.2.2).

Lorsque des émissions lumineuses affectent le paysage nocturne, ces atteintes doivent être appréciées sur la base de la LPN (voir annexe A3.2.3).

2 But et application de l'aide à l'exécution

2.1 But

La présente aide à l'exécution doit contribuer à limiter les émissions lumineuses dans le sens de la LPE, de la LPN et d'autres textes législatifs. À cet effet, les personnes qui sont impliquées dans la planification, l'appréciation, l'autorisation ou l'exploitation d'installations d'éclairage doivent bénéficier des connaissances nécessaires afin de prendre les mesures qui s'imposent pour éviter ou réduire ces émissions (voir chap. 3 et annexe A5). L'aide à l'exécution vient concrétiser le principe de précaution arrêté dans la LPE, qui exige que les émissions lumineuses soient limitées à titre préventif – indépendamment des nuisances existantes – 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 ; voir annexe A3.2.1).

Elle doit en outre servir de référence pour apprécier si les émissions lumineuses (provenant de sources lumineuses à l'extérieur) pénétrant dans des locaux d'habitation doivent, dans le cas concret, être considérées incommodantes au sens de la LPE (art. 11, al. 3, LPE ; voir chap. 5).

Enfin, ce document doit d'une manière plus générale sensibiliser à la thématique de la pollution lumineuse, en expliquant les tenants et les aboutissants (voir annexes A2 et A3) ainsi que les conséquences pour l'être humain et pour l'environnement (voir annexe A1).

2.2 Destinataires

La présente aide à l'exécution s'adresse en premier lieu aux autorités chargées d'évaluer et d'autoriser les dispositifs d'éclairage extérieur.

De manière indirecte, elle s'adresse également aux bureaux d'ingénierie, aux bureaux d'études environnementales, aux maîtres d'ouvrages et aux 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 ce que les autorités prennent en considération lors de l'appréciation et de la procédure d'autorisation des projets, et indique comment préparer la documentation des requêtes.

Enfin, cette publication est aussi utile aux propriétaires et aux personnes exploitant des installations d'éclairage, qui y trouvent des informations sur la manière d'aménager au mieux leurs éclairages afin que ceux-ci ne produisent pas d'émissions lumineuses superflues et respectent les exigences du droit de l'environnement.

2.3 Champ d'application

La présente aide à l'exécution n'introduit aucune nouvelle disposition légale. Les exigences de la LPE et de la LPN ainsi que d'autres dispositions légales touchant à la limitation des émissions lumineuses existaient déjà auparavant et continuent de s'appliquer de manière identique. L'aide à l'exécution vient les préciser et les concrétiser au moyen d'exemples afin d'en faciliter l'application dans la pratique.

Il est recommandé d'appliquer la présente aide à l'exécution :

- lors de la construction de nouvelles installations d'éclairage,
- lors de la rénovation ou de l'adaptation, partielle ou totale, d'installations d'éclairage existantes,
- dans le cadre de procédures de recours, en cas de réclamations ainsi que
- dans toutes les situations où les autorités sont impliquées d'office.

La LPE exige également que les installations existantes soient assainies lorsqu'elles ne répondent pas aux exigences de la limitation – préventive ou renforcée – des émissions. Il est recommandé aux autorités de se prononcer dans les cas particuliers sur la nécessité d'un assainissement, en tenant compte des différents intérêts en présence. Il convient en particulier de prendre en considération la sauvegarde de la confiance. Si des mesures d'assainissement sont envisagées, l'aide à l'exécution peut servir de guide.

2.4 Les installations au sens de la LPE

Au sens de la LPE, les installations sont les bâtiments, les voies de communication ou les autres ouvrages fixes, les modifications de terrain ainsi que les outils, machines, véhicules, bateaux et aéronefs (art. 7, al. 7, LPE).

Les émissions lumineuses ayant des incidences notables sur l'environnement peuvent émaner d'un grand nombre d'installations (voir point 1.2). Or l'acception du terme installation est très large dans la LPE. Il convient par conséquent de l'aborder avec flexibilité, en fonction de la situation particulière et dans l'optique d'une protection maximale de l'environnement. Lorsqu'il s'agit d'apprécier la limitation des émissions lumineuses, il faut interpréter cette notion d'une manière qui soit judicieuse eu égard aux nuisances qu'il s'agit de restreindre. En fonction du contexte, les termes suivants entrent donc en ligne de compte pour désigner les installations :

- Installations d'éclairage : dans une installation globale, seuls les dispositifs qui servent à l'éclairage sont pris en compte, par exemple une ou plusieurs lampes.
- Installations avec éclairage intégré : l'installation globale est prise en compte, laquelle comprend notamment une installation d'éclairage.
- Les installations individuelles ou globales qui engendrent des émissions lumineuses pendant le jour.

Lorsqu'il s'agit d'évaluer une installation, il est important d'inclure toutes les sources de lumière, sans oublier les éventuelles sources additionnelles (mobiles), à condition qu'elles constituent un ensemble sur les plans spatial et fonctionnel. Il n'est pas déterminant de savoir si ces installations sont permanentes ou non, de connaître le but qu'elles servent ou de savoir si elles constituent des ouvrages occupant un espace défini (un cinéma en plein air ou un manège peuvent également constituer des installations au sens de la LPE). Il ne peut cependant être

question d'une installation que si des aménagements relevant de la construction ou de la technique sont nécessaires.

Concrètement, ces explications relatives à la notion d'installation signifient notamment ce qui suit :

- L'illumination dérangeante d'un local d'habitation est souvent due à l'installation dans son ensemble (p. ex. tous les projecteurs éclairant un terrain de sport). En conséquence, tous les éclairages ayant une incidence doivent être évalués conjointement (voir point 5.2).
- Lorsqu'il s'agit d'un éblouissement incommodant, il peut en revanche s'avérer plus juste d'apprécier les différentes lampes du bâtiment ou de l'installation individuellement et d'évaluer leur effet à titre de source isolée (voir point 5.3).
- En ce qui concerne les routes, l'éclairage public peut être gênant, tout comme – sous certaines conditions – les phares des véhicules qui y circulent. Cela peut être le cas notamment si les phares des véhicules éclairent directement les locaux d'habitation en raison de conditions topographiques particulières (p. ex. dans le cas de sorties de parkings souterrains ou de côtes). En revanche, dans le cas d'une route plus ou moins horizontale, on peut supposer que la lumière ne pénètre pas directement dans les habitations ou qu'il n'y a pas plus d'immissions que ce n'est habituellement le cas à proximité d'une route puisque les phares des véhicules sont dirigés légèrement vers le bas.

Des informations sur les autorisations requises pour les installations se trouvent au point 7.3 ; pour en savoir davantage sur la manière de traiter les réclamations, référez-vous au point 7.6.

3 Recommandations pour la limitation des émissions lumineuses pendant la nuit

3.1 Principes (plan en 7 points)

En vertu de l'art. 11, al. 1, LPE, les émissions lumineuses doivent être en premier lieu limitées par des mesures prises à la source (voir annexe A3.2.1). Celles-ci découlent des sept principes énoncés dans le tableau ci-après figure 2). Leur but est avant tout d'éviter la pollution lumineuse qui va au-delà du pur besoin d'éclairage, de par son étendue spatiale, sa gestion dans le temps ou son intensité (émissions inutiles), ou qui a des répercussions négatives en raison de sa composition spectrale. Il s'agit d'éviter ainsi la gêne pour l'être humain, la nature ou le paysage.

Figure 2

Aperçu des principes régissant la limitation des émissions lumineuses (plan en 7 points)

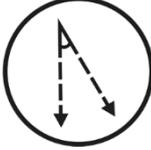
Principes de la limitation des émissions lumineuses (plan en 7 points)

 **[1] Nécessité**
Un éclairage est-il nécessaire ?
→ Éclairer uniquement ce qui doit l'être.
→ Point 3.3.1

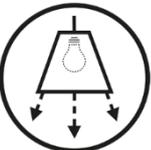
 **[2] Intensité / clarté**
Quelle doit être l'intensité de l'éclairage ?
→ Pas plus intense que nécessaire.
→ Point 3.3.2

 **[3] Spectre lumineux / couleur de la lumière**
Le spectre lumineux choisi est-il approprié ?
→ Adapter le spectre lumineux au but de l'éclairage et aux alentours.
→ Point 3.3.3

 **[4] Choix et positionnement des lampes**
Le type de lampes choisi est-il adapté et leur placement est-il approprié ?
→ L'éclairage doit être le plus précis possible afin d'éviter la dispersion inutile de lumière dans les alentours.
→ Point 3.3.4

 **[5] Orientation de l'éclairage**
Les lampes sont-elles orientées de manière optimale ?
→ Éclairer systématiquement de haut en bas.
→ Orienter les lampes avec précision lors du montage.
→ Point 3.3.5

 **[6] Gestion dans le temps / système de commande**
Quand a-t-on besoin de quel éclairage ?
Est-il possible d'éteindre ou de réduire l'éclairage par moments ?
• En fonction des heures du jour et de la nuit ?
• En fonction de la saison ?
Est-il possible de commander activement l'éclairage (en accord avec les besoins) ?
→ Adapter l'éclairage en fonction des besoins et l'arrêter ou le réduire par moments.
→ Point 3.3.6

 **[7] Écrans protecteurs**
Faut-il prévoir des écrans protecteurs pour limiter la diffusion de la lumière ?
→ Écrans additionnels dans certains cas problématiques spécifiques.
→ Point 3.3.7

3.2 Applicabilité des principes (plan en 7 points)

Le plan en 7 points est applicable aussi bien lors de la planification et de la procédure d'autorisation que pour la réception et l'évaluation de l'exploitation ainsi que pour l'évaluation des réclamations concernant toutes les sources énumérées dans le tableau 1 (voir figure 2).

Pour les installations d'éclairage soumises à autorisation, il est recommandé aux autorités compétentes de demander dans le cadre de la procédure d'autorisation une documentation s'appuyant sur des clarifications et des mesures selon le plan en 7 points et d'examiner le dossier selon ces critères (voir point 7.3). Il est cependant possible de s'appuyer également sur ces sept principes pour traiter des réclamations (voir point 7.6).

Selon la situation, il peut être judicieux de traiter les sept points dans un autre ordre.

Les trois ou quatre premiers points et la gestion dans le temps peuvent déjà être examinés dans les planifications de l'éclairage à large échelle (p. ex. dans le cadre de plans ou de stratégies d'éclairage). Vous trouverez des informations à ce sujet dans l'annexe A4. Lorsqu'il s'agit d'établir des planifications pour des espaces plus petits (p. ex. éclairage d'une place publique) ou des installations individuelles, les sept points sont importants.

Des considérations fondamentales sur ces sept points sont présentées aux points 3.3.1 à 3.3.7. À l'annexe A5, le plan en 7 points est en outre appliqué à certaines situations et installations d'éclairage et des mesures spécifiques sont proposées. L'annexe A5.10 contient des propositions supplémentaires pour réduire les conséquences sur les espèces sensibles à la lumière et leurs milieux naturels.

3.3 Remarques relatives à la mise en œuvre

3.3.1 Nécessité



Principe directeur : « Éclairer uniquement ce qui doit l'être. »

L'examen de la nécessité doit inclure les éclairages préexistants :

- Démonter les installations qui ne sont pas nécessaires.

Remarques concernant l'examen de la nécessité pour des installations nouvelles ou devant être renouvelées :

- Un concept d'éclairage peut aider à répondre à la question de la nécessité.
- S'agissant de la planification ou du renouvellement de grandes installations d'éclairage (p. ex. routes) ou de l'éclairage d'installations et d'espaces publics, il est recommandé de les inclure dans un concept ou un plan plus général, couvrant un espace plus vaste (voir annexe A4), et non de les considérer séparément. L'ampleur d'un tel concept sera plus ou moins importante selon la taille de la région. Il convient de définir au moins des principes généraux relatifs à l'éclairage.

- Il convient de renoncer autant que possible à tout éclairage dans les espaces naturels et les zones peu peuplées.
- Si un éclairage dans un espace naturel devait être considéré comme nécessaire, il convient de déterminer précocement, d'entente avec les services spécialisés dans les domaines de la nature, du paysage ainsi que de la chasse et de la faune sauvage, les conflits d'objectifs avec les espèces et les milieux naturels sensibles et avec la préservation du paysage ; les répercussions des émissions lumineuses doivent être limitées au strict minimum. S'il est établi qu'une population d'espèces, de sous-espèces ou d'espèces protégées ou menacées pour lesquelles la Suisse a une responsabilité particulière diminue en raison de l'éclairage artificiel, celui-ci doit être interdit.

3.3.2 Intensité / Clarté



Principe directeur : « Pas plus clair que nécessaire, c'est-à-dire répondre aux besoins avec la quantité de lumière globale la plus petite possible. »

L'adaptation de la clarté au but de l'éclairage constitue un élément important de la réduction des émissions lumineuses et de leurs conséquences sur l'être humain et l'environnement. Cette mesure permet également d'économiser de l'énergie. Il convient de tenir compte des points suivants lors du choix de l'intensité :

- Tenir compte de la clarté ambiante : dans un environnement plutôt sombre, une lumière moins intense suffit à atteindre le but d'éclairage visé. Des éclairages supplémentaires dans un espace donné impliquent éventuellement une adaptation des éclairages existants.
- Là où des normes de sécurité ou de travail exigent une clarté spécifique, le principe est le suivant : respecter les valeurs des normes, mais sans les dépasser (pas de suréclairage). Il faut en particulier veiller à choisir la catégorie d'éclairage appropriée si la norme fait une distinction entre plusieurs catégories.
- Les lampes LED équipées d'un ballast adapté peuvent être réglées en continu et très précisément pour obtenir l'intensité lumineuse souhaitée. 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 durée de vie, comme c'était le cas avec les technologies plus anciennes.
- L'état d'avancement de la recherche au sujet de la sensibilité à la lumière n'est pas le même pour toutes les espèces ou les groupes d'espèces. Des connaissances fondées sont cependant indispensables pour assurer une protection efficace de la biodiversité existante. Il est dès lors toujours essentiel de tenir compte des résultats les plus récents de la recherche pour planifier de nouvelles installations d'éclairage. Un fait est toutefois établi : les systèmes visuels des animaux nocturnes se sont adaptés à des niveaux de lumière très bas au cours de l'évolution, de sorte qu'ils peuvent déjà être perturbés par une faible intensité de lumière artificielle. L'objectif doit par conséquent être de réduire cette intensité au strict minimum.

3.3.3 Spectre lumineux / couleur de la lumière



Principe directeur : « Choix minutieux du spectre lumineux, de manière à ce qu'il soit adapté au but et au lieu de l'éclairage (tenir compte des alentours). »

La lumière produite par les différents types de lampes ne présente pas la même composition spectrale. De nombreux animaux nocturnes, en particulier de nombreux insectes, sont attirés par la lumière aux longueurs d'onde courtes (UV et lumière bleue). Aujourd'hui, l'éclairage est le plus souvent assuré par des diodes électroluminescentes (LED). Les lampes LED produisant une lumière chaude sont un peu moins efficaces sur le plan énergétique que celles aux tons froids (lumière blanche)¹. L'avantage est que la part bleue dans leur spectre lumineux est inférieure ; or la composante bleue a un impact biologique particulièrement négatif. En outre, beaucoup de personnes ressentent la lumière chaude comme plus agréable que les lampes blanc neutre ou blanc froid (voir annexes A1.1.5 et A2.4).

- Du point de vue de la LPE et de la LPN, il faudrait donc donner la préférence aux LED de couleur blanc chaud ; selon l'état actuel des connaissances, la température de couleur devrait être inférieure à 2700 K.²
- Le conflit d'intérêts qui oppose économie d'énergie et réduction de la lumière à composante bleue doit être apprécié au cas par cas.
- Il est cependant inadmissible de porter atteinte à des espèces ou à des milieux naturels qui sont protégés, menacés ou qui revêtent une importance particulière en avançant l'argument de la préservation des ressources.
- Il faut éviter d'utiliser des LED de couleur blanc froid (> 5300 K).
- Si des considérations en matière de sécurité dictent l'utilisation de LED blanc neutre (4000 K), il convient d'examiner sur place si l'intensité peut être réduite (p. ex. à l'aide de tests d'éclairage, d'échantillonnages, de sondages, etc.). En effet, une lumière à forte composante bleue est ressentie comme plus claire par l'œil humain qu'une lumière plus intense dont le spectre inclut moins de bleu. Ce phénomène s'explique par le fait qu'avec la vision crépusculaire, la sensibilité se déplace vers le domaine bleu-vert.
- Si les lampes requises pour atteindre un objectif d'éclairage précis ont des conséquences négatives sur un milieu naturel et les organismes qui y vivent en raison de leur composition spectrale, elles seront munies de filtres afin de limiter les composantes spectrales indésirables (p. ex. filtres UV).

¹ Selon les fabricants, l'efficacité énergétique des LED blanc chaud (température de couleur de 3000 Kelvin [K]) est inférieure de 10 à 20 % à celle des LED blanc neutre (4000 K). Cette efficacité est toutefois toujours supérieure à celle des lampes conventionnelles, indépendamment de la température de couleur. Elle peut encore être améliorée par le recours au pilotage dynamique afin de produire la lumière en fonction des besoins (voir annexe A2.5).

² Cette recommandation s'appuie sur différentes études (p. ex. Longcore et al. 2018, Luginbuhl et al. 2014) et sur les recommandations d'autres pays (voir la France, annexe A3.4.3).

3.3.4 Choix et positionnement des lampes



Principe directeur : « Sélectionner des types de lampes appropriés et les placer correctement afin que l'éclairage soit le plus précis possible, en évitant la dispersion inutile de lumière dans les alentours. »

Un élément central dans la limitation des émissions lumineuses dans l'environnement proche réside dans le choix d'un type de lampes approprié en fonction du but de l'éclairage et dans un placement judicieux des lampes afin de diriger la lumière aussi précisément que possible et, ainsi, de réduire au strict minimum la dispersion de la lumière dans les alentours.

Conditions-cadres et planification :

- Il est possible de prévoir des zones tampons entre les installations d'éclairage et les milieux naturels sensibles (tels que les biotopes d'importance nationale ou régionale, les districts francs pour la faune sauvage, les réserves d'oiseaux d'eau et migrateurs, les réserves forestières, les zones de frai des poissons, les quartiers d'hiver et les territoires de rut) afin d'éviter autant que possible que de la lumière y pénètre. Les zones tampons sont également recommandées à proximité d'installations visant à rétablir des fonctions écologiques (p. ex. corridors faunistiques, échelles ou passes à poissons). Les exigences formulées pour les éclairages dans ces zones sensibles doivent être particulièrement strictes afin que les émissions lumineuses dans les espaces protégés restent minimales.
- L'éclairage doit être planifié de manière à préserver des corridors et des zones sombres autour des infrastructures illuminées (p. ex. dans des ceintures vertes) pour que les habitats des animaux nocturnes restent intacts et reliés entre eux.
- Pour les installations d'éclairage de grande envergure (routes, terrains de sport, gares, zones de voies, etc.), il est recommandé de s'adjoindre de spécialistes et de faire réaliser des calculs sur l'illumination. Il est ainsi possible de sélectionner les lampes les plus adaptées au cas concret, de même que leur placement et leur orientation optimaux, en tenant compte des répercussions sur les alentours.

Mise en œuvre :

- Les lampes devraient permettre un bon guidage du flux lumineux, de manière à n'éclairer, dans la mesure du possible, que les surfaces qui nécessitent de la lumière. Lorsqu'elles sont correctement utilisées, les lampes LED permettent de mieux orienter la lumière que les lampes usuelles (voir annexe A2.4).
- Lorsque les lampes sont situées en bordure d'une zone à éclairer, celles qui ont un rayonnement lumineux asymétrique permettent de mieux délimiter la surface effectivement éclairée que les lampes dont la lumière est distribuée de manière symétrique. Cela vaut également pour les lampes LED (voir annexe A5.3.3).
- 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 locaux d'habitation ou des milieux naturels voisins. Des spécificités topographiques (p. ex. site surélevé ou pente) peuvent induire des situations particulières du point de vue de l'effet de la lumière (p. ex. vue directe dans les lampes, visibilité plus étendue). Il peut alors être nécessaire de prendre des mesures (complémentaires) adaptées spécialement à la situation concrète afin de limiter les émissions dans des zones sensibles (voir point 3.3.7).

- Les lampes doivent être bien hermétiques afin qu'aucun petit organisme vivant (insecte ou araignée, p. ex.) ne puisse y pénétrer.

3.3.5 Orientation de l'éclairage



Principe directeur : « Éclairer systématiquement de haut en bas afin d'éviter les rayonnements superflus émis vers le ciel nocturne. »

Remarques concernant l'orientation :

- L'éclairage doit être systématiquement orienté de haut en bas afin d'éviter les rayonnements superflus émis vers le ciel nocturne.
- Il convient d'orienter les lampes de manière à ce qu'elles n'illuminent pas directement des locaux d'habitation voisins. À cet effet, il faut également éviter, autant que faire se peut, une émission de lumière horizontale.
- Lors du montage, les lampes doivent être orientées précisément afin de n'éclairer que ce qui doit l'être.
- Il est interdit d'éclairer les sorties des quartiers de jour des chauves-souris, car celles-ci tardent alors à s'envoler pour leur chasse nocturne ou ne sortent pas du tout.
- Ne pas éclairer non plus directement ou indirectement et en permanence les sites de nidification des oiseaux et autres refuges d'animaux dans les ouvrages anciens tels que les remparts, les tours historiques ou les églises (voir annexe A5.7.3).
- Ne jamais éclairer directement les eaux proches de l'état naturel et leurs rives. Ces eaux abritent de nombreux organismes susceptibles d'être affectés par la lumière (p. ex. poissons, amphibiens, trichoptères, éphémères, puces d'eau, zooplancton et vers plats).

3.3.6 Gestion dans le temps / système de commande



Principe directeur : « Adapter autant que possible l'éclairage en fonction des besoins et l'éteindre ou le réduire par moments. »

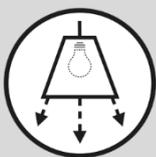
Les questions qui suivent se posent en rapport avec la gestion dans le temps de l'éclairage :

- Quand ou durant quelles périodes l'éclairage est-il nécessaire ?
- L'éclairage peut-il être réduit ou éteint par moments ?
 - En fonction des heures du jour ou de la nuit ?
 - En fonction de la saison ?
- Est-il possible de gérer activement l'éclairage (en accord avec les besoins) ?

Remarques concernant l'adaptation de l'éclairage en fonction des besoins et sa gestion dans le temps :

- 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).
- Tenir compte des saisons : les répercussions de l'éclairage artificiel sur les animaux et leurs habitats peuvent varier selon la saison.
 - Une perturbation de la migration des oiseaux est possible au printemps (mars à mai) et en automne (août à novembre), surtout en cas de brouillard ou de couverture nuageuse. Les limitations de l'éclairage visant à protéger les oiseaux migrateurs doivent donc surtout être adoptées pendant ces périodes (p. ex. fermeture automatique des stores ou d'autres systèmes d'occultation de la lumière dans les bâtiments hauts durant la nuit ; voir l'exemple pratique à l'annexe A5.9.4 ; pas d'éclairage de sommets de montagne, voir annexe A5.10.2).
 - 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 relie 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.
- Les longues structures d'éclairage linéaires, à l'instar de l'éclairage des routes, peuvent constituer un obstacle insurmontable pour les insectes et interrompre les couloirs de vol des chauves-souris vers leurs territoires de chasse. Par le passé, ces installations étaient en fonction toute la nuit. Aujourd'hui, la technologie LED, combinée à des systèmes de commande intelligents, permet de gérer même un éclairage fort en l'adaptant aux besoins, tant en matière de périodes de fonctionnement que de l'intensité de la lumière (voir annexe A5.1). S'ils sont bien conçus et réalisés, de tels dispositifs contribuent à réduire l'effet barrière de ces grandes structures.

3.3.7 Écrans protecteurs



Principe directeur : « Prévoir des écrans additionnels dans certains cas problématiques spécifiques. »

- 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 passages à faune traversant des infrastructures de transport et à proximité ceux-ci, il faut au besoin installer des écrans afin que les animaux ne soient pas éblouis par les phares des véhicules (automobiles ou ferroviaires).

4 Appréciation de l'impact des émissions lumineuses d'une installation et de la proportionnalité de mesures préventives

4.1 Critères

Les critères ci-dessous permettent de déterminer l'impact des émissions lumineuses émanant d'une installation pour la perturbation des alentours :

- L'importance des émissions affectant l'espace extérieur : elle peut être considérable (p. ex. éclairage de routes, périmètres industriels, terrains de sport) ou très petite (p. ex. de petites lampes sur des propriétés privées). La nature qualitative de la lumière a également une influence sur la perceptibilité et le degré éventuel de gêne.
- La sensibilité des alentours : les caractéristiques des environs et, partant, leur sensibilité, peuvent varier considérablement, indépendamment de la source lumineuse à évaluer ; elle peut aller de très grande (p. ex. zones de protection de la nature) à très faible (p. ex. zones urbaines, zones industrielles et artisanales ne se trouvant pas à proximité de locaux d'habitation, ni d'espaces naturels ou de paysages dignes de protection).

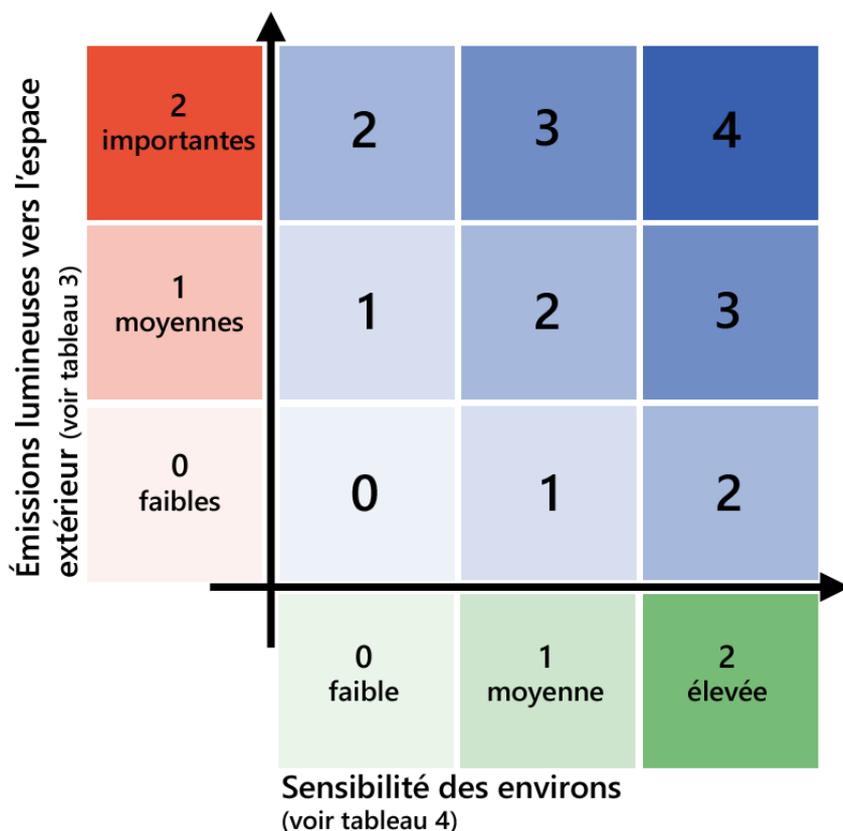
4.2 Matrice d'impact

Il est possible d'apprécier l'impact des émissions lumineuses d'une installation pour les alentours à l'aide de la matrice de la figure 3 ci-dessous.

Figure 3

Matrice pour déterminer l'indice d'impact des émissions lumineuses d'une installation

Selon l'importance de ces émissions (axe des ordonnées) et la sensibilité des alentours de l'installation (axe des abscisses), on obtient un indice d'impact allant de 0 à 4. Plus ce chiffre est grand, plus l'impact est grand et donc plus les mesures visant à réduire les émissions sont urgentes.



Le point 4.3 présente des exemples d'émissions typiques de différentes installations extérieures. Le point 4.4 explique les différents aspects à prendre en compte pour évaluer la sensibilité des alentours. Le point 4.5, enfin, est consacré aux mesures à mettre en place sur la base du résultat obtenu en appliquant la matrice d'impact et le plan en 7 points.

4.3 Émissions lumineuses vers les espaces extérieurs

Les *émissions* d'une installation affectant les espaces extérieurs dépendent des éléments suivants :

- Intensité et type d'éclairage (intensité de la lumière, spectre lumineux)
- Dimension de l'éclairage et étendue à éclairer
- Périodes/heures durant lesquelles l'éclairage est allumé

La répartition des sources lumineuses typiques en catégories (tableau 3 ci-dessous) constitue un premier pas dans l'attribution des degrés d'émissions (importantes, moyennes, faibles) de la matrice d'impact. Elle doit se faire de manière souple dans les cas concrets ; il peut être nécessaire de classer certains éclairages dans une catégorie supérieure ou inférieure en raison de leurs caractéristiques spécifiques (p. ex. grandes lampes clignotantes).

Tableau 3**Émissions typiques de différentes installations vers les espaces extérieurs**

Type d'installation	Émissions vers les espaces extérieurs
<ul style="list-style-type: none"> • Éclairages de routes • Éclairages d'infrastructures sportives • Éclairages d'aires industrielles (places de travail en plein air) : installations de transbordement, rampes, gares de marchandises, installations de triage, aires de stockage, éclairages par projecteurs des marchands de voitures, etc. • Éclairages dans les gares • Éclairages d'autres infrastructures de transport : arrêts, aéroports, aérodromes, parkings • Bâtiments de l'industrie et de l'artisanat tels que centres commerciaux, centres logistiques, stations-service, lavage de voiture, magasins ouverts 24 h sur 24, etc. 	importantes (2)
<ul style="list-style-type: none"> • Éclairages de places publiques, de zones de rencontre, de parcs urbains • Illumination de bâtiments publics et d'installations (éclairage des façades) • Éclairages publicitaires • Éclairages fonctionnels dans les espaces extérieurs de localités • Chantiers nocturnes • Serres (éclairage intérieur) • Bâtiments industriels et artisanaux utilisés la nuit (éclairage intérieur), selon la taille • Éclairage intérieur d'immeubles de grande hauteur, d'hôpitaux et d'autres bâtiments présentant de grandes surfaces vitrées, de cages d'escalier vitrées 	moyennes (1)
<ul style="list-style-type: none"> • Bâtiments administratifs et bureaux utilisés la nuit • Illuminations de Noël et éclairages décoratifs en fonction toute l'année • Éclairages fonctionnels extérieurs des maisons individuelles • Éclairage intérieur des maisons individuelles et d'immeubles • Lampes décoratives individuelles 	faibles (0)

La durée est un critère additionnel à prendre en compte lors du classement des émissions lumineuses dans une catégorie. Un éclairage permanent durant toute la nuit produit généralement des émissions supérieures à celui qui ne s'enclenche que par moments ou de façon abrupte. Une gestion active dans le temps ou l'extinction temporaire des lumières (p. ex. éclairage de routes, enseignes lumineuses) peut donc constituer une mesure adéquate pour réduire les émissions (voir point 3.3.6). Dans certains cas cependant, c'est justement l'irrégularité des émissions lumineuses (p. ex. lumière vacillante avec effet « flamme » ou phares de véhicules qui passent) qui peut être ressentie comme particulièrement gênante.

L'autre élément à prendre en compte est la sensibilité des alentours (point 4.4 ci-après). À proximité d'espaces naturels de grande valeur, des éclairages intérieurs dans des maisons individuelles ou des immeubles par exemple peuvent avoir d'importantes répercussions (voir point 4.5).

4.4 Sensibilité des alentours

L'impact de la lumière sur l'être humain et sur la nature ne dépend pas uniquement de l'intensité et de la qualité des émissions lumineuses, mais également des caractéristiques de l'espace environnant. Pour éviter autant que possible ces conséquences indésirables, il est judicieux de tenir compte des alentours dès le stade de la planification des installations d'éclairage.

Un facteur important dont il faut tenir compte est la *clarté des alentours*. Dans un environnement sombre, les éclairages se remarquent et incommodent davantage ; en outre, une quantité de lumière réduite suffit à y atteindre le but d'éclairage visé. Les alentours peuvent être caractérisés à l'aide des zones environnantes définies dans le tableau 4. Les répercussions de l'éclairage affectent aussi bien l'être humain (locaux d'habitation à proximité) que l'environnement (espaces naturels et paysages dignes de protection, animaux nocturnes) :

- *Locaux d'habitation* dans les alentours :
 - Les grandes installations d'éclairage peuvent, selon les circonstances, provoquer une illumination gênante des locaux d'habitation lorsqu'elles sont situées à proximité de logements (voir point 5.2 et annexe A1.1.4).
 - Si les lampes se trouvent directement dans le champ de vision, elles peuvent provoquer un éblouissement incommode même dans les logements plus éloignés de la source lumineuse (voir point 5.3 et annexe A1.1.3).
- *Milieus naturels dignes de protection et lieux avec présence locale d'animaux nocturnes* : on trouve des espèces et des habitats sensibles à la lumière aussi bien dans l'espace rural qu'en milieu urbain (p. ex. chauves-souris). Ces zones jouent notamment un rôle dans la mise en réseau et constituent un élément essentiel de l'infrastructure écologique. Il est dès lors primordial de préserver des couloirs sombres. Il convient de prêter une attention toute particulière aux aires protégées périurbaines ainsi qu'aux berges des cours d'eau et aux rives des lacs. 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 :
 - Contacts avec des services cantonaux spécialisés dans les questions ayant trait à la nature et au paysage, à la chasse et à la gestion de la faune et avec les offices et organisations locales de protection de la nature. Il est parfois nécessaire de procéder à des investigations ciblées afin de déterminer si des espèces sensibles à la lumière vivent dans un secteur donné (p. ex. inventaires des chiroptères³).
 - Sur Internet, la plateforme de géoinformation proposée en libre accès par la Confédération⁴ fournit des cartes délimitant les milieux naturels dignes de protection (comme les objets de l'Inventaire fédéral des paysages, les 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 et rares (corridors faunistiques, réserves d'oiseaux d'eau et de migrants, quartiers d'hiver).
 - Les sites Internet des cantons donnent accès aux inventaires cantonaux⁵.

³ La Fondation pour la conservation des chauves-souris met à disposition des spécialistes dans l'ensemble de la Suisse (www.fledermausschutz.ch).

⁴ Adresse: www.map.geo.admin.ch

⁵ Conférence des services cantonaux de géoinformation (CCGEO) : www.kkgeo.ch > Géodonnées

Dans le tableau 4, les différentes zones environnantes sont attribuées à l'un des trois degrés de sensibilité de la matrice d'impact selon la norme CIE 150:2017. Cette répartition tient compte du fait que les zones sont plus ou moins claires durant la nuit, en fonction de l'utilisation existante.

Tableau 4

Les zones environnantes et leurs caractéristiques selon CIE 150:2017

Zone	Alentours selon CIE 150:2017	Exemples selon CIE 150:2017	Exemples analogues	Sensibilité
E0	très sombre	Réserves de ciel étoilé de l'UNESCO (Starlight Reserves), parcs de ciel étoilé (IDA Dark Sky Parcs), grands observatoires astronomiques	<ul style="list-style-type: none"> Zones inhabitées Espaces naturels dignes de protection, en part. zones protégées nationales et locales, lieux où vivent des espèces sensibles à la lumière d'importance nationale Parcs nationaux, etc. 	élevée (2)
E1	sombre	Zones rurales relativement inhabitées	<ul style="list-style-type: none"> Maisons isolées dans un milieu rural 	moyenne (1)
E2	faible clarté de la zone	Zones rurales modérément habitées	<ul style="list-style-type: none"> Zones rurales à densité modérée Zones purement résidentielles Périphéries de localités 	
E3	clarté moyenne de la zone	Zones rurales habitées et localités urbaines	<ul style="list-style-type: none"> Agglomération Zones fortement peuplées Zones d'habitation et d'artisanat (zones mixtes) 	faible (0)
E4	forte clarté de la zone	Centres des villes et autres centres commerciaux	<ul style="list-style-type: none"> Centres urbains et d'affaires 	

Les trois *degrés de sensibilité* de la matrice d'impact sont les suivants :

- Les alentours présentant une faible sensibilité sont en particulier les zones E3 et E4 (zones urbaines, agglomération densément peuplées).
- Les alentours présentant une sensibilité moyenne sont en particulier les zones E1 et E2 (zones rurales très peu ou peu habitées, zones purement résidentielles ou locaux d'habitation à proximité).
- Les alentours présentant une sensibilité élevée sont en particulier les zones inhabitées (p. ex. espaces naturels dignes de protection), habitats particulièrement sensibles à la lumière et lieux avec présence locale d'animaux nocturnes (zone E0).

Lorsqu'une situation concrète l'exige, il est possible de s'écarter des exemples énumérés dans la norme CIE 150:2017. Il se peut notamment que des parties ou des aires des zones environnantes E3 et E4 présentent une plus grande sensibilité, par exemple dans des parcs en milieu urbain ou des cours intérieures donnant sur des logements. Un plan d'éclairage permet aux villes et aux communes de nuancer et d'adapter la sensibilité pour répondre aux conditions concrètes (voir annexe A4).

4.5 Proportionnalité des mesures préventives

La somme des valeurs obtenues pour les émissions lumineuses dans les espaces extérieurs et la sensibilité des alentours donne, selon la matrice d'impact, l'indice de l'impact d'une certaine source lumineuse dans un environnement donné (voir figure 3). Pour déterminer quelles mesures préventives sont nécessaires pour limiter les émissions, il convient de combiner l'indice obtenu avec le plan en 7 points :

- Lorsqu'il s'agit de prévention, il faut prendre toutes les mesures qui sont proportionnées selon le plan en 7 points. Plus l'indice d'impact est élevé, plus il est probable qu'une mesure soit considérée comme telle. En clair : plus l'indice d'une source lumineuse est élevé, plus les mesures pour limiter préventivement les émissions devront être conséquentes.
- Si l'indice d'impact est de 0 (p. ex. dans le cas de petites lumières placées sur un balcon en ville), il ne faut généralement pas prendre de mesures puisque celles-ci ne seraient pas proportionnées.
- Si l'indice d'impact est de 4 (ex. : éclairage d'un terrain de sport situé à proximité de zones de protection de la nature et de paysages dignes de protection), les mesures même lourdes ne sont en règle générale pas suffisantes pour préserver l'intérêt supérieur que constitue la protection contre la lumière artificielle. Un tel éclairage est généralement inadmissible.
- Lorsque l'indice d'impact se situe entre 1 et 3, il convient de déterminer au cas par cas quelles mesures ou quel degré de mesures doivent être considérés comme proportionnés pour la source lumineuse concernée.

5 Recommandations concernant l'évaluation de l'effet incommode des immissions lumineuses pour l'être humain (appréciation du cas individuel au moyen de valeurs indicatives)

5.1 Généralités

5.1.1 Aspects légaux

En vertu de la LPE, « les émissions seront limitées plus sévèrement s'il appert ou s'il y a lieu de présumer que les atteintes, eu égard à la charge actuelle de l'environnement, seront nuisibles ou incommodes » (art. 11, al. 3, LPE). Le Conseil fédéral n'a pas encore défini de valeurs limites d'immissions pour l'évaluation de la nuisance ou du caractère incommode des rayonnements lumineux. Dès lors, l'autorité qui doit appliquer le droit dans le cas particulier doit apprécier, en s'appuyant directement sur la LPE, quand les immissions lumineuses doivent être considérées comme nuisibles ou incommodes, c'est-à-dire menacent l'être humain, les animaux et les plantes, leurs biocénoses et leurs biotopes ou gênent considérablement la population dans son bien-être. Pour ce faire, elle peut s'appuyer sur des indications fournies par des expertises et des services spécialisés, tout comme elle peut tenir compte de valeurs limites ou indicatives figurant dans des normes privées ou étrangères, pour autant que les critères d'évaluation soient comparables à ceux du droit environnemental suisse (voir annexe A3.2.1).

Les aides à l'exécution peuvent contenir des valeurs indicatives afin d'aider à évaluer une situation concrète. Ainsi, les valeurs indicatives contenues dans le présent chapitre peuvent être utilisées pour juger si la lumière artificielle provenant de l'extérieur (de sources situées dans l'environnement) est très incommode pour les personnes au sens de la LPE. Cette évaluation porte sur les immissions qui parviennent dans les locaux d'habitation et sur l'éblouissement incommode. Ces deux effets indésirables peuvent survenir indépendamment l'un de l'autre. Les valeurs indicatives recommandées ici sont dérivées de la directive 150 de la Commission internationale de l'éclairage (CIE) (voir annexe A3.4.1) et des « Hinweisen zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen » de la deutsche Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionschutz (LAI) (voir annexe A3.4.3).

Il convient de souligner que ces valeurs indicatives ne sont pas juridiquement contraignantes, contrairement aux valeurs limites d'immissions, dont l'édiction relève de la compétence exclusive du Conseil fédéral en vertu de l'art. 13, al. 1, LPE. Elles doivent toutefois contribuer à ce que les immissions lumineuses soient évaluées selon une pratique uniforme lors du traitement des cas particuliers. L'autorité d'exécution jouit d'une certaine marge de

manœuvre en présence de valeurs indicatives, ce qui n'est pas le cas lorsqu'il existe des valeurs limites (voir annexe A5.4).

5.1.2 Effet incommode

La gêne ressentie par l'être humain à cause d'une lumière artificielle provenant de l'environnement dépend d'une manière générale des facteurs suivants :

- *Intensité de la lumière* : intensité de l'éclairage pour l'illumination indésirable de locaux d'habitation ainsi que différences de clarté ou de luminance pour l'éblouissement incommode.
- *Clarté des alentours* : plus les environs sont sombres, plus les sources lumineuses sont perceptibles et plus leur effet incommode augmente.
- *Couleur de la lumière* : l'effet incommode n'est pas le même pour toutes les couleurs. Dans l'ordre croissant, lumière jaune ou blanche, verte, rouge ou bleue. Dans le cas de la lumière blanche, beaucoup de personnes trouvent le blanc chaud plus agréable que le blanc neutre ou froid.
- *Inconstance* : une lumière clignotante gêne davantage qu'une lumière constante, l'effet incommode augmentant avec la fréquence du clignotement.
- *Moment de l'atteinte* : les immissions lumineuses sont spécialement incommodes durant le repos nocturne (22 h à 6 h).
- *Fréquence et durée de l'atteinte* : un éclairage qui est allumé tous les soirs pendant plusieurs heures dérange plus qu'une installation qui n'est en service que quelques fois par année.

Les valeurs indicatives ci-après portent sur les *immissions globales* dans les locaux d'habitation affectés. Il est aisé de 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 incommode). En revanche, calculer les immissions globales à l'avance exige beaucoup de travail, parce qu'il faut modéliser toutes les sources de lumière des alentours.

Étant donné que l'effet incommode des immissions lumineuses pour l'homme dépend du type et de l'intensité de l'utilisation ainsi que du besoin de protection contre la lumière dans la zone environnante concernée (voir tableau 4 au point 4.4), il est recommandé d'appliquer les valeurs indicatives de façon nuancée. Dans la mesure du possible, des facteurs de correction pour la lumière colorée ou clignotante seront indiqués plus bas.

5.2 Valeurs indicatives pour l'illumination indésirable de locaux d'habitation

5.2.1 Généralités

L'illumination indésirable des locaux (voir annexe A1.1.4) est évaluée à l'aide de l'éclairement vertical E_v exprimé en lux et mesuré à la fenêtre du logement concerné (voir figure 4).

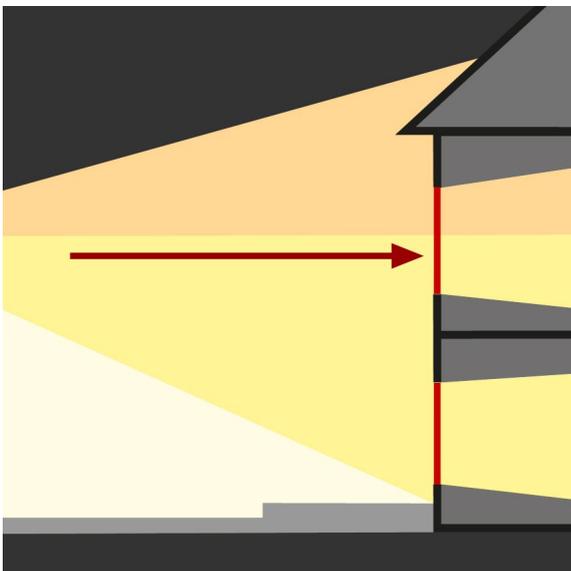
Dans ce contexte, une importance particulière est accordée à la période débutant à 22 heures, parce que c'est le moment du repos nocturne et du sommeil pour la plus grande partie de la population. Les valeurs indicatives proposées au point 5.2.2 pour évaluer l'illumination indésirable des locaux d'habitation font ainsi référence à la période de repos nocturne. Cette dernière est définie comme celle qui s'applique en matière de protection contre le bruit. Elle s'étend en règle générale de 22 heures à 6 heures.

En cas de réclamations au sujet d'immissions en dehors de la période de repos, en particulier avant 22 heures, il est recommandé au point 5.2.3 de se fonder sur les normes applicables à la catégorie d'installations concernée et d'exiger le respect des valeurs correspondantes (voir annexe A3.4). Pour un endroit donné, ces normes portent toutefois sur les immissions produites par les installations individuelles, et non sur l'ensemble des immissions.

Figure 4

Valeurs indicatives pour l'illumination indésirable de locaux d'habitation

L'illumination indésirable des locaux d'habitation est évaluée à l'aide de l'éclairage parvenant perpendiculairement sur la surface vitrée, exprimé en lux, pour la lumière provenant de l'extérieur. La surface de mesure de l'éclairage vertical est indiquée en rouge.



5.2.2 Évaluation de l'illumination des locaux d'habitation durant la période nocturne (de 22 h à 6 h)

Les valeurs indicatives à utiliser pour évaluer les immissions durant la période de repos nocturne, qui varient en fonction de la zone environnante, figurent dans le tableau 5. Elles sont dérivées des valeurs recommandées dans le guide CIE 150:2003 (« post-curfew ») ; elles se rapportent aux immissions globales résultant de toutes les sources de lumière dans les alentours. Si le guide CIE se réfère à l'éclairage vertical maximal mesuré sur une surface de fenêtre, la présente aide à l'exécution utilise l'éclairage vertical moyen du local d'habitation le plus affecté. La raison de ce choix est, d'une part, le fait que cette valeur est plus facile à déterminer par des mesures et, d'autre part, que les mesures effectuées ont montré que les valeurs moyenne et maximale pour une surface de fenêtre sont du même ordre de grandeur.

Tableau 5

Valeurs indicatives pour l'évaluation de l'illumination indésirable des locaux d'habitation (éclairage vertical E_v moyen exprimé en lux) sur les surfaces de fenêtre de ces locaux durant la période de repos, en fonction de la zone

Zone environnante (selon Tableau 4)	Éclairage vertical moyen E_v en lux
E0, très sombre : parcs de ciel étoilé, espaces naturels dignes de protection, parcs nationaux, etc.	–
E1, sombre : zones rurales relativement inhabitées	0
E2, faible clarté : zones rurales modérément habitées, zones purement résidentielles, etc.	1
E3, clarté moyenne : zones rurales habitées et localités urbaines	2
E4, forte clarté : centres des villes et autres centres commerciaux	5

Lorsque la lumière est colorée ou qu'elle varie dans le temps, l'effet incommode pour l'homme est plus important que lorsqu'elle est blanche et constante (voir annexe A1.1.4). Afin d'en tenir compte, on appliquera les facteurs complémentaires (selon le tableau 6) aux immissions composées essentiellement (à plus de 80 %) de lumière colorée ou variant dans le temps. Ces facteurs correspondent aux valeurs fixées par le groupe de travail pour la protection contre les émissions institué par l'État fédéral/les Länder allemands (LAI 2012).

Tableau 6

Facteurs complémentaires pour l'évaluation de l'illumination des locaux d'habitation par de la lumière colorée ou variant dans le temps (explication pour leur application, voir ci-dessous les remarques concernant l'évaluation)

	Facteur complémentaire
Lumière colorée :	2
Lumière variant dans le temps :	
<i>Durée des périodes :</i>	
> 5 min.	1
> 4 s à 5 min.	1,5
> 2 s à 4 s	2
> 1,5 s à 2 s	3
<i>Fréquence (en hertz [Hz]) :</i>	
0,67 à 18 Hz	5
19 à 24 Hz	3
25 à 30 Hz	2
> 30 Hz	1

Les installations servant à éclairer les voies de communication publiques parviennent dans de nombreux cas à respecter les valeurs indicatives relatives à l'illumination indésirable des locaux d'habitation indiquées dans le tableau 5. Il y a cependant des situations dans des zones densément construites où il est impossible de satisfaire à ces valeurs, même en utilisant les meilleurs éclairages que permet l'état de la technique. Dans ce type de cas, pour des raisons de sécurité, il convient d'accorder la priorité à la norme SN EN 13201 « Éclairage public » par rapport aux valeurs indicatives ci-dessus. Cela ne n'empêche pas pour autant que des mesures puissent être

prises dans des cas individuels (p. ex. pas d'éclairage excessif, écrans de protection, etc.). Outre les mesures préventives, il convient de prendre toutes celles qui permettent de réduire le dépassement des valeurs indicatives. L'évaluation nécessaire incombe à l'autorité d'exécution compétente.

Le point 5.4 contient des informations complémentaires relatives à la marge discrétionnaire de l'autorité compétente en ce qui concerne l'application des valeurs indicatives pour apprécier l'effet incommode. L'annexe A6.1 fournit des renseignements au sujet de l'évaluation, des mesures et des calculs de l'illumination indésirable des locaux d'habitation durant la période de repos nocturne.

5.2.3 Évaluation de l'illumination indésirable des locaux en dehors de la période de repos nocturne

Il n'y a en revanche aucune recommandation de valeurs indicatives pour évaluer l'illumination indésirable des locaux d'habitation durant les heures en dehors de la période de repos nocturne (voir point 5.2.1). Pour cette partie du jour, les émissions doivent être limitées par des mesures à la source, à titre préventif. Pour certaines catégories d'installations, il existe des normes d'éclairage qui portent non seulement sur la qualité de l'éclairage, mais également sur la limitation des émissions lumineuses dans les alentours (voir annexe A3.4).

Ces normes indiquent par conséquent jusqu'à quel niveau les immissions dans les alentours peuvent être limitées si l'installation est exploitée conformément aux normes et à l'état de la technique. Les exigences se rapportent toutefois aux immissions dues à une seule installation à un endroit donné, et non pas aux immissions globales.

En cas de réclamations concernant l'illumination de locaux d'habitation en dehors de la période de repos nocturne, il est recommandé d'exiger le respect des valeurs limites prévues par les normes correspondantes. Il est également possible de se référer à ces valeurs dans le cadre des procédures d'autorisation pour évaluer les résultats des calculs de l'éclairement vertical pour la période précédant 22 heures.

Les dispositions déterminantes pour l'évaluation d'une installation d'éclairage en ce qui concerne l'illumination indésirable des locaux d'habitation en dehors de la période de repos nocturne sont les suivantes :

- Infrastructures sportives : SN EN 12193 « Éclairage des installations sportives », section 6.10 « Lumière indésirable » (voir annexe A3.4.1).
- Lieux de travail extérieurs⁶ : SN EN 12464-2:2014 « Éclairage des lieux de travail extérieurs », section 4.5 « Lumière indésirable » (voir annexe A3.4.1);
- Publicités lumineuses : annexe A5.8 de la présente aide à l'exécution.
- 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 possible (voir annexe A5.1.3).
- Installations d'éclairage pour lesquelles il n'existe pas d'exigences explicites dans une norme : il est conseillé de se fonder sur les recommandations du groupe de travail institué par l'État fédéral/les Länder allemands (LAI) (voir annexe A3.4.3).

Des informations complémentaires relatives à l'évaluation, à la mesure et au calcul de l'illumination indésirable des locaux d'habitation en dehors de la période de repos nocturne se trouvent à l'annexe A6.2.

⁶ Par exemple chantiers, stations-service, installations industrielles, certains secteurs des aéroports ou quais ferroviaires A3.4.1

5.3 Valeurs indicatives pour l'éblouissement incommodant durant la nuit

5.3.1 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 annexe A1.1.3). Ce type de désagrément ne peut se produire et être évalué que lorsque la source éblouissante est directement visible depuis le lieu d'immissions (p. ex. un logement).

L'*effet incommodant* dépend de :

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

Dans une *situation spécifique*, tous ces paramètres peuvent être relevés en une seule fois à l'aide d'un luminancemètre, puis déterminés à l'aide d'un logiciel approprié (voir figure 5).

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'immissions ; 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 5**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 incommode présentée ci-dessous s'inspire des indications de la communauté de travail instituée par l'État fédéral/ les Länder allemands (LAI 2012). La CIE a adapté cette méthode aux zones environnantes en 2017, dans son guide 150 (CIE 2017). Contrairement à ce qui est le cas pour l'évaluation de l'illumination indésirable de locaux d'habitation (voir point 5.2), les valeurs indicatives ne doivent pas être appliquées uniquement à la période de repos nocturne, mais à toutes les situations dès lorsqu'il fait sombre. Les valeurs indicatives sont toutefois moins sévères pour les heures avant la période de repos nocturne que pour cette dernière.

5.3.2 Évaluation de l'éblouissement incommode

Deux méthodes sont utilisées dans la pratique pour déterminer l'éblouissement incommode. D'une part, le niveau d'éblouissement k_s (blendmass), qui inclut tous les paramètres de l'effet incommode susmentionnés. D'autre part, un procédé qui évalue la luminance (en candelas) dans la direction du lieu d'immissions.

Pour évaluer l'éblouissement incommode d'une source lumineuse, la méthode utilisant le niveau d'éblouissement k_s est de manière générale plus appropriée que l'intensité lumineuse, car la luminance prise en compte dans cette mesure correspond directement à l'impression de clarté perçue par l'être humain. Cependant, lorsque la mesure du niveau d'éblouissement k_s est appliquée à proximité de sources lumineuses se trouvant à une distance relativement grande du sol (p. ex. éclairage d'un terrain de sport), il devient difficile de déterminer la clarté ambiante, tout spécialement pour les prévisions. Au vu de l'angle solide sous lequel la lampe est perçue, le ciel nocturne influe considérablement sur la luminance de l'environnement. Les données empiriques font toutefois défaut pour définir quelles luminances de l'environnement doivent être utilisées dans de telles situations

pour faire des prévisions. Il est dès lors conseillé d'utiliser pour le moment la méthode avec l'intensité lumineuse pour évaluer l'éblouissement incommode causé par l'éclairage de terrains de sport ; pour tous les autres éclairages, il convient d'appliquer le niveau d'éblouissement k_S .

Évaluation de l'éblouissement incommode à l'aide du niveau d'éblouissement k_S

Pour évaluer l'éblouissement incommode, il faut déterminer comme valeur auxiliaire le niveau d'éblouissement k_S à l'aide de l'équation 1. Celui-ci ne doit pas dépasser, pour la zone environnante concernée, la valeur indicative k en vigueur selon le tableau 7.

Pour calculer le niveau d'éblouissement 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'immissions et la luminance de l'environnement L_U (voir figure 6).

Le niveau d'éblouissement k_S se calcule selon la formule suivante :

Équation 1

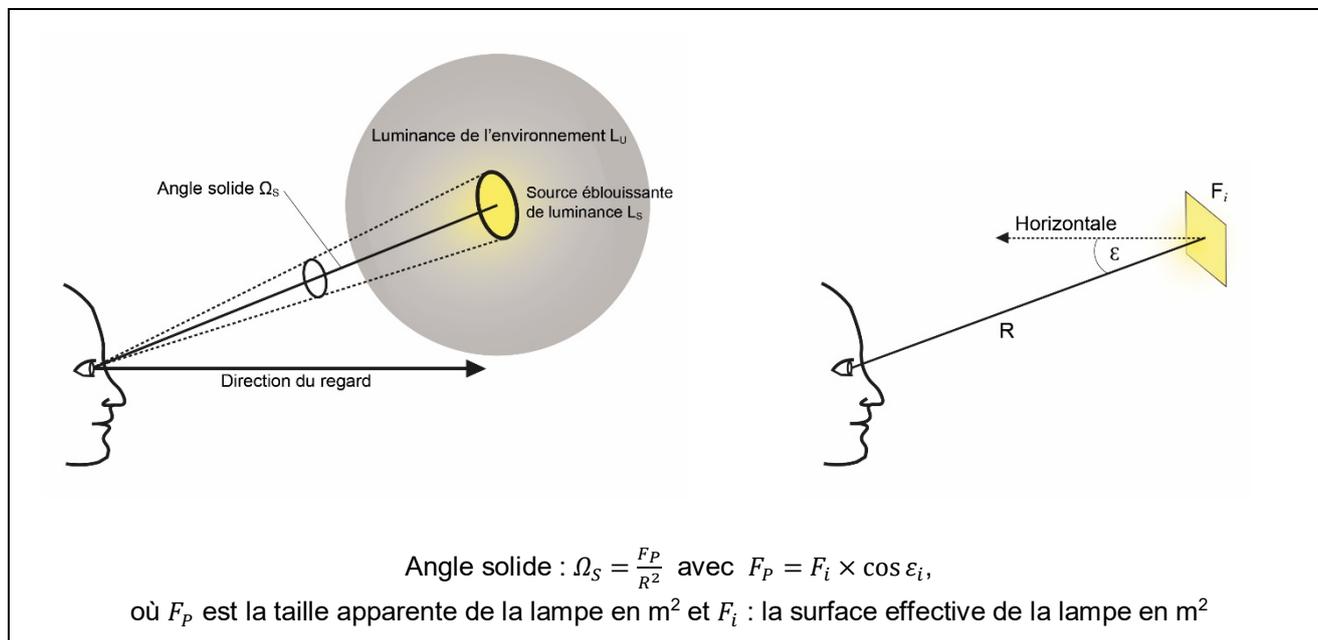
$$k_S = \overline{L}_S \times \sqrt{\frac{\Omega_S}{L_U}}$$

Où :

- \overline{L}_S : luminance moyenne de la source lumineuse éblouissante, en cd/m^2 ;
- L_U : luminance de l'environnement de la source lumineuse éblouissante, en cd/m^2 ;
- Ω_S : angle solide de la source lumineuse éblouissante vue du lieu d'immissions, en stéradians (sr).

Figure 6

Esquisses illustrant les grandeurs qui influent sur l'éblouissement incommode et doivent être déterminées pour calculer le niveau d'éblouissement k_S (d'après : LiTG 12.3-2011).



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

- une luminance des alentours L_U comprise entre 0,1 cd/m² et 10 cd/m² (si la luminance mesurée 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 $10^{-3} \times k \times \sqrt{L_U}$. Pour k , on utilisera la valeur correspondante présentée au Tableau 7.
 - 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 $10 \times k \times \sqrt{L_U}$. Pour k , on utilisera la valeur correspondante présentée au tableau 7.

Tableau 7

Valeurs indicatives k pour l'évaluation de l'éblouissement incommode en fonction de la zone environnante

Zone environnante (selon le tableau 4)	Valeur indicative k	
	en dehors de la période de repos nocturne	période de repos nocturne (22 h à 6 h)
E0, très sombre : parcs de ciel étoilé, espaces naturels dignes de protection, parcs nationaux, etc.	0	0
E1, sombre : zones rurales relativement inhabitées	32	0
E2, faible clarté : zones rurales modérément habitées, zones purement résidentielles, etc.	64	32
E3, clarté moyenne : zones rurales habitées et localités urbaines	96	32
E4, forte clarté : centres des villes et autres centres commerciaux	160	32

Le point 5.4 contient des informations concernant la marge discrétionnaire de l'autorité d'exécution lors de l'application des valeurs indicatives pour l'évaluation de l'effet incommode. L'annexe A6.3 fournit quant à elle des renseignements complémentaires au sujet de l'appréciation de l'éblouissement incommode.

Évaluation de l'éblouissement incommode de l'éclairage de terrains de sport à l'aide des luminances

Lorsqu'il s'agit d'évaluer l'éblouissement incommode dû à des infrastructures sportives, il est recommandé pour le moment d'exiger que soient respectées les valeurs pour les luminances dans la direction des lieux d'immissions définies la norme SN EN 12193 « Éclairage des installations sportives ». Les valeurs indicatives varient selon la zone environnante (zones sombres ou à clarté faible, zones à clarté moyenne et à forte clarté). Elles figurent à l'annexe A3.4.2.

5.4 Application des valeurs indicatives et marge discrétionnaire lors de l'évaluation de l'effet incommode dans les cas particuliers

Des investigations supplémentaires sont nécessaires lorsque l'autorité a des raisons de supposer que, après la mise en œuvre des mesures préventives visant à limiter les émissions, le niveau des immissions pourrait encore gêner considérablement dans leur bien-être les personnes affectées. Il s'agit alors de déterminer en détail les immissions au lieu d'habitation concerné et de les évaluer. Pour ce faire, l'autorité peut s'appuyer sur les valeurs indicatives des points 5.2 (illumination indésirable des locaux d'habitation) et 5.3 (éblouissement incommode). Ces valeurs se veulent une orientation pratique, mais elles laissent à l'autorité d'exécution une marge discrétionnaire dans son appréciation de l'effet incommode dans les cas particuliers.

Lorsque les valeurs indicatives sont respectées, il est permis de partir du principe que les atteintes lumineuses ne sont généralement pas très incommodes au sens de la LPE.

Si les valeurs indicatives (ou les valeurs de la norme pour les infrastructures sportives) sont dépassées, il convient d'analyser plus précisément et au cas par cas, selon l'art. 14 LPE, si les atteintes lumineuses sont fortement incommodes. Il appartient par conséquent à l'autorité d'exécution compétente de nier, dans des cas justifiés, l'existence d'une gêne importante, bien que les valeurs indicatives soient dépassées. Lors des examens détaillés de ces situations particulières, il convient de prendre en considération tous les aspects pouvant avoir un effet incommode, notamment les facteurs selon le point 5.1.2.

L'une des raisons de considérer les atteintes comme n'étant pas fortement incommodes bien que les valeurs indicatives soient dépassées peut résider dans le fait que ce dépassement ne se produit que quelques jours par an. On prendra comme ordre de grandeur un maximum de 15 à 20 jours dans l'année. Il est possible aussi de ne pas reconnaître une gêne comme importante dans un cas particulier lorsque les immissions lumineuses d'une installation sont ressenties comme usuelles à l'endroit concerné et sont largement acceptées, ou si elles sont liées à une tradition (voir à ce propos ATF 1C_252/2017 du 5 octobre 2018, consid. 5.2 et 8 ; ATF 140 II 33, consid. 6.2 concernant les illuminations de Noël).

Si les immissions sont jugées considérablement incommodes, l'autorité compétente doit ordonner des mesures plus strictes pour limiter les émissions (voir plan en 7 points selon la figure 2 au chap. 3) jusqu'à disparition de la gêne importante (art. 11, al. 3, LPE; voir aussi art. 17, al. 2, LPE).

6 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 incommode entrant dans le champ d'application de la LPE. En font notamment partie la lumière du soleil réflétee par des façades, des fenêtres ou des installations solaires (voir point 6.1) ou la lumière modifiée par la rotation des pales d'une éolienne (voir point 6.2).

6.1 Réflexion de la lumière du soleil

6.1.1 Généralités

La lumière du soleil réflétee par des éléments artificiels tels que des façades de verre, des revêtements métalliques, des vitres, des installations photovoltaïques ou des capteurs solaires fait partie des atteintes entrant dans le champ d'application de la LPE. En conséquence, ces émissions doivent être limitées à titre préventif (premier niveau de limitation selon la LPE) et ne doivent pas entraîner d'atteintes nuisibles ou incommodes dans le voisinage (second niveau de la limitation des émissions, voir annexe A3.2.1).

Les réflexions de la lumière solaire sur des éléments artificiels sont un phénomène fréquent au vu des matériaux de construction utilisés. Elles ne revêtent une importance du point de vue du droit environnemental que si elles se produisent régulièrement à un endroit pendant une certaine durée et que des riverains sont affectés. La LPE ne porte pas sur les phénomènes naturels tels que les réflexions sur un lac ou sur la neige.

L'éblouissement provoqué par 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 « anti-reflet » structurée) peut réduire l'intensité des réflexions en diffusant davantage la lumière réflétee. L'élargissement du faisceau lumineux réflétee réduit ainsi l'intensité sur le lieu d'immissions, 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.

Différentes décisions judiciaires ont déjà été rendues dans ce domaine. Elles considèrent un éblouissement d'une durée de 50 minutes par jour pendant plusieurs mois comme n'étant plus admissible. Des durées allant de 20 à près de 30 minutes par jour ont été considérées comme acceptables (EBP 2016).

Installations solaires

Un arrêt du Tribunal fédéral (*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 incommodes au sens de la LPE

(second niveau LPE). Il a toutefois précisé que les émissions doivent 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 LPE). Dans le cas soumis à son appréciation, le Tribunal fédéral n'a cependant 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 niveau fédéral, c'est le *droit sur 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 1^{er} 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. 32a, al. 1, let. c, OAT).

6.1.2 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 point 6.2) sont considérés comme inappropriés pour apprécier un éblouissement constant.
- Pour décider dans un cas concret 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. Quelques indications sont fournies ci-après concernant une démarche possible.
- Lors de l'évaluation, il ne faut pas prendre en compte les immissions sur toute la parcelle, mais seulement aux endroits où des personnes séjournent de manière prolongée, par exemple les locaux d'habitation, balcons ou terrasses de jardin. Les routes, trottoirs, etc. où l'on est généralement en mouvement ne sont pas des lieux d'immissions pertinents en droit environnemental.
- Dans les décisions judiciaires, le caractère excessif des réflexions est évalué sur la base de la durée et de la fréquence de l'éblouissement. Dans une telle évaluation, il faut regarder si les durées de l'éblouissement sont réelles (mesurées, observées) ou calculées pour des conditions réalistes (en tenant compte de l'élargissement du faisceau et de la correction météorologique) ou s'il s'agit au contraire d'une prévision d'éblouissement déterminée sur la base d'hypothèses simplifiées (sans élargissement du faisceau et sans correction météorologique). Dans ce dernier cas, la fréquence et la durée de l'éblouissement dû à des réflexions sur des surfaces structurées (p. ex. installations solaires) sont souvent sous-estimées par rapport à la réalité.

6.1.3 Remarques concernant les prévisions

Prévoir l'éblouissement provoqué par des surfaces réfléchissantes est une tâche plus ou moins difficile selon la situation. S'il est assez aisé d'apporter des réponses claires dans certains cas, il faut des investigations approfondies dans d'autres, allant parfois jusqu'à des simulations et des mesures complexes. Des explications relatives à une démarche en plusieurs étapes sont fournies ci-après (Blattner 2015).

A) Évaluation grossière

Pour procéder à une première évaluation grossière, il faut disposer de données sur le type, la situation, la taille et l'orientation de la surface réfléchissante ainsi que sur le type et la situation des lieux d'immissions (voir tableau 9). Ces informations permettent d'évaluer sommairement la situation à l'aide du tableau 8.

Tableau 8
Éblouissement potentiel dans différentes situations

Éblouis. potentiel	Surface réfléchissante	Emplacement du lieu d'immissions
Aucun	Orientée vers le nord	Au sud
	Orientation vers le nord et montage à plat de la surface réfléchissante (p. ex. module photovoltaïque)	En contrebas et au nord
	Orientation vers le sud	Au nord
	Orientation vers l'est	Au sud, à l'ouest ou au nord-ouest
	Orientation vers l'ouest	Au nord-est ou au sud
Bref uniquement		Si la distance entre le lieu d'immissions et la surface réfléchissante est plus de 9 fois supérieure à la diagonale de cette dernière, l'éblouissement dure moins de 30 minutes.
Possible	Orientation vers le nord	Au nord, à la même hauteur ou plus haut
	Angle de pose (élévation) supérieur à 60 °	Plus haute que la surface réfléchissante
Estimation impossible	Toutes les situations qui ne sont pas susmentionnées	

- S'il n'est pas possible d'exclure un éblouissement à l'aide de cette évaluation grossière, il convient de procéder à des investigations plus poussées.

Tableau 9

Indications concernant la documentation relative aux surfaces réfléchissantes et aux alentours pour faire des prévisions sur un éventuel éblouissement

Envergure des investigations	Documentation	Contenu
A) Évaluation grossière	Situation	Représentation cartographique de la situation, éventuellement photo aérienne du terrain
	Surface réfléchissante	<ul style="list-style-type: none"> • Type (façade de verre, module photovoltaïque, etc.), fabricant • Situation • Taille • Orientation
	Lieux d'immissions	<ul style="list-style-type: none"> • Type et situation des lieux d'immission (p. ex. locaux d'habitation, balcon, terrasse de jardin)
B) Évaluation élargie	Surface réfléchissante – indications supplémentaires	<ul style="list-style-type: none"> • Coordonnées et altitude du point central de l'installation • Coordonnées et altitude des quatre angles de l'installation • Orientation de la surface réfléchissante : azimut en degrés (orientation par rapport au nord, où N : 0°, E : 90°, S : 180°, O : 270°) • Inclinaison de la surface réfléchissante : élévation en degré (plat = 0°, vertical = 90°) • Indications au sujet du comportement de la surface réfléchissante s'agissant de la réflexion (p. ex. avec revêtement anti-reflet, texturé, élargissant le faisceau lumineux)
	Lieux d'immissions – indications supplémentaires	<ul style="list-style-type: none"> • Coordonnées et altitude des lieux et points d'immission pertinents
	Situation – indications supplémentaires	<ul style="list-style-type: none"> • Horizon par rapport à la surface réfléchissante (p. ex. interruption par une montagne, des constructions élevées, etc.)
	Calculs simples ⁷	<ul style="list-style-type: none"> • Diagramme de position du soleil à l'endroit de la surface réfléchissante (en tenant compte de l'horizon) • Diagrammes de réflexion des surfaces réfléchissantes pour chaque lieu d'immissions
C) Évaluation détaillée	Indications supplémentaires concernant le comportement en matière de réflexion (élargissement du faisceau)	<ul style="list-style-type: none"> • Coefficient de réflexion pour les différents angles d'incidence et d'observation (réflectivité bidirectionnelle [BRDF]) • Alternativement, images de luminance ou photos de la surface réfléchissante au moment de l'éblouissement afin de déterminer l'élargissement du faisceau
	Conditions climatiques sur place	<ul style="list-style-type: none"> • Correction météorologique résolue dans le temps pour les plages durant lesquelles l'éblouissement peut effectivement se produire
	Calcul détaillé de la répartition de l'intensité lumineuse au lieu d'immissions	<ul style="list-style-type: none"> • Intensité de la lumière solaire réfléchi (luminance en candelas par mètre carré [cd/m²]) et durée de l'impact, pour chaque lieu d'immissions

B) Évaluation élargie

Pour une appréciation élargie, il faut des données supplémentaires concernant la surface réfléchissante et les lieux d'immissions (voir tableau 9). Ces indications permettent de faire des calculs simples⁷ :

- Le diagramme de position du soleil illustre la position du soleil (angle d'élévation par rapport à l'azimut) durant l'année pour l'endroit où se trouve la surface réfléchissante. Il convient, en fonction des cas, de tenir compte de l'horizon du point de vue de la surface réfléchissante (p. ex. si des montagnes, des constructions élevées, etc. font écran).
- En partant de ce diagramme de position du soleil, il est possible de calculer la direction dans laquelle la lumière du soleil est réfléchi, en partant de l'orientation et de l'inclinaison de la surface réfléchissante. Ces données sont représentées dans un diagramme de réflexion.
- S'il n'y a aucun lieu d'immissions dans la direction des réflexions, l'éblouissement peut être exclu.
- En revanche, s'il existe des lieux d'immissions dans cette direction, il convient de calculer pour chaque point d'immission (p. ex. une chambre donnée, un balcon ou une terrasse de jardin précis) s'il est affecté par des réflexions, et, si oui, quand et pendant quelle durée :
 - Si le point d'immission se situe clairement en dehors de la zone des rayons réfléchis, il ne faut pas escompter d'éblouissement.
 - Si le point d'immission se situe clairement dans la zone des rayons réfléchis, l'éblouissement est probable. Si la durée calculée de l'éblouissement est considérée comme excessive, il convient d'étudier des mesures de réduction et les appliquer le cas échéant (voir point 6.1.4).
 - S'il subsiste des incertitudes concernant l'occurrence d'un éblouissement et sa durée, il convient de procéder à une évaluation encore plus approfondie.

Lors de l'utilisation d'outils de calcul simples, il faut garder à l'esprit qu'ils ne tiennent souvent compte que de la réflexion directe des rayons de soleil (angle d'incidence = angle de réflexion). Selon la texture de la surface du matériau réfléchissant (structuration, notamment d'installations solaires) et l'angle d'incidence, la réflexion des rayons du soleil n'est pas uniquement spéculaire, mais aussi diffuse. L'élargissement du faisceau qui en résulte (typiquement 5 à 20°) fait que l'intensité au lieu d'immissions est plus faible, mais la durée peut s'en trouver prolongée (d'un facteur 2 à 5).

En conséquence, si des outils ne tenant compte que de la réflexion directe sont utilisés pour calculer l'effet des rayons du soleil réfléchis sur des surfaces (de verre) structurées, on aboutit à une sous-estimation du nombre d'événements d'éblouissement et de leur durée.

C) Évaluation détaillée

Les calculs effectués pour une évaluation détaillée doivent tenir compte de la taille apparente du soleil (0,5°), de l'élargissement du faisceau (0 à 20°), des conditions climatiques sur place (correction météorologique) et des incertitudes relatives à l'orientation de la surface réfléchissante (p. ex. liée au montage) (voir tableau 9).

Pour intégrer l'élargissement du faisceau, il faut connaître le coefficient de réflexion pour les différents angles d'incidence et d'observation. Idéalement, une fonction de distribution de la réflectance bidirectionnelle (BRDF) est disponible pour le matériau réfléchissant. Sinon, l'élargissement du faisceau peut être déterminé à l'aide d'images de luminance ou de photos ; à partir de ces dernières, il est possible de dériver la taille angulaire du

⁷ Il existe des outils électroniques pour calculer simplement l'éventuel éblouissement aux lieux d'immissions.

point lumineux et donc la taille de l'angle de dispersion du rayon solaire réfléchi. Étant donné que l'élargissement du faisceau dépend en grande partie de l'angle d'incidence, il faut généralement plusieurs images, prises pour différentes positions du rayonnement solaire réfléchi.

Pour ce qui est de la correction météorologique, il faut veiller à ce qu'elle soit réalisée le mieux possible de manière résolue dans le temps pour les périodes durant lesquelles l'éblouissement peut théoriquement se produire.

Les calculs détaillés doivent fournir des informations sur l'intensité de la lumière solaire réfléchie au lieu d'immissions (luminance) ainsi que sur les durées de ces nuisances.

Lorsque la réflexion lumineuse est si intense que l'œil ne peut pas s'adapter aux conditions de luminosité, on parle d'éblouissement absolu. Celui-ci se produit à partir d'une luminance de 10 000 et jusqu'à 160 000 candelas par mètre carré (cd/m^2) (SSK 2006). Selon la position du soleil, sa luminance atteint 6 millions de cd/m^2 (à l'horizon) et jusqu'à 1,6 milliard de cd/m^2 (à midi). Même si une petite partie seulement de la lumière solaire est réfléchie, l'intensité de la réflexion dépasse donc nettement le niveau de l'éblouissement absolu.

6.1.4 Informations concernant les mesures

Si l'éblouissement est jugé excessif, qu'il soit escompté pour une installation en cours de planification ou constaté pour une surface réfléchissante existante soumise à évaluation, des mesures de réduction des atteintes doivent être étudiées et mises en œuvre, par exemple :

- construction de l'installation à un autre endroit ou déplacement de celle-ci ;
- couverture temporaire de la surface réfléchissante (p. ex. des stores extérieurs sur les façades de verre) ;
- modification de l'orientation de l'installation et/ou de son angle d'élévation (pour les installations solaires) ;
- réduction de la taille de l'installation (pour les installations solaires) ;
- choix de matériaux appropriés (selon la situation, réduction de la durée d'éblouissement par des surfaces lisses ou réduction de l'intensité par des surfaces structurées ; éventuellement ajouter un revêtement) ;
- aménagement d'un écran entre la surface réfléchissante et le lieu d'immissions, par exemple parois de protection, plantations denses, tôles de protection visuelle, etc. ;
- ombrage de la surface de réflexion / éviter les angles d'incidence problématiques par des tôles d'ombrage (possible uniquement pour les angles d'incidence très plats).

6.2 Effets des éoliennes sur la lumière

6.2.1 Généralités

La rotation des pales d'une éolienne modifie artificiellement la lumière du soleil. Une atteinte incommode au sens de l'art. 7, al. 1, LPE peut en résulter de deux manières : les pales reflètent la lumière (éclairs lumineux, « effet discothèque ») ou elles l'interrompent régulièrement à une fréquence élevée (on parle alors de projection d'ombre périodique, 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 2020). Le rôle des éoliennes augmentera à l'avenir, dans le sillage de la Stratégie énergétique 2050. La problématique des éclairs lumineux et de l'effet stroboscopique va par conséquent gagner en importance, que ce soit dans le cadre des études de l'impact sur l'environnement (EIE) ou des recours.

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 – ce qui est la norme pour les installations modernes – 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 le clignotement artificiel dans les locaux résidentiels ou professionnels ou les jardins du voisinage peut être évitée ou limitée au maximum en planifiant soigneusement l'installation. Ces inconvénients peuvent être évités par le choix d'un site approprié et par l'arrêt temporaire de l'éolienne.

Il n'existe pas actuellement en Suisse de valeurs limites ou de valeurs indicatives précisant quand les immissions causées par une éolienne, en un lieu donné, doivent être considérées comme nuisibles ou incommodes. L'autorité chargée d'appliquer le droit (autoriser une éolienne incombe aux cantons et aux communes) doit donc évaluer au cas par cas, en se fondant directement sur la LPE, si des immissions lumineuses doivent être jugées nuisibles ou incommodes. L'autorité peut s'appuyer pour cela sur des indications fournies par des expertises 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.

6.2.2 Remarques concernant l'évaluation

Le guide « Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen (WKA-Schattenwurf-Hinweise) » (Indications concernant la détermination et l'évaluation des immissions optiques dues aux éoliennes) adopté en 2002 (et mis à jour en 2020) par le groupe de travail institué par l'État fédéral/les Länder allemands (LAI) constitue une réglementation de ce type. La LAI applique ces indications lors de l'évaluation des deux effets susmentionnés que les éoliennes peuvent avoir pour l'être humain afin d'assurer une exécution homogène de la loi fédérale allemande de protection contre les immissions (Bundes-Immissionsschutzgesetz, BImSchG) (voir annexe A3.4.3).

Selon ces indications de la LAI, une atteinte provoquée par la projection périodique d'une ombre est considérée comme acceptable lorsque sa durée maximale possible du point de vue astronomique en un lieu d'immissions (en prenant en compte l'effet cumulatif de toutes les éoliennes) 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, p. ex).

Étant donné que la valeur de 30 heures par année a été définie sur la base de la projection d'ombre possible du point de vue astronomique, les dispositifs de déclenchement automatique des éoliennes utilisent une valeur correspondante pour la durée réelle de l'ombrage météorologique. Cette valeur est de 8 heures par an. Selon la LAI, une éolienne doit par conséquent être arrêtée lorsque l'effet incommodant dure effectivement plus de 8 heures par an.

La valeur indicative de 30 minutes par jour vaut, dans le cas des installations en projet, pour la durée maximale possible de projection d'ombre du point de vue astronomique ; pour les installations existantes, elle vaut pour la durée effective de cet ombrage. Lorsque cette valeur indicative est dépassée pendant au moins trois jours, l'ombrage périodique quotidien doit être réduit à 30 minutes.

Le problème des éclairs lumineux (« effet discothèque ») ne se pose généralement pas pour les éoliennes modernes, le revêtement des pales étant normalement non réfléchissant (UBA 2019). Les éclairs se produisant en cas de pluie ou de gel ne sont pas pris en compte selon les indications de la LAI.

6.2.3 Remarques concernant les prévisions

La projection d'ombre d'une éolienne dépend de la position du soleil, des conditions météorologiques, de la direction et de la vitesse du vent ainsi que des heures d'exploitation. L'évolution journalière et annuelle des projections d'ombre peut être calculée à l'aide d'outils de planification courants, dans le cadre des prévisions. Les données de départ nécessaires sont des informations sur les sites des installations et sur les lieux d'immissions sensibles. Ces derniers englobent tous les locaux dans lesquels des personnes se tiennent pendant des durées prolongées (p. ex. locaux d'habitation, bureaux, locaux d'enseignement) ainsi que les espaces extérieurs des bâtiments, tels que balcons ou terrasses. Les zones des parcelles non construites où de tels locaux sont autorisés sont également à considérer comme des lieux d'immissions sensibles.

Les outils de planification permettent de calculer, pour tous les lieux d'immissions sensibles du voisinage, la durée maximale de projection d'ombre possible du point de vue astronomique (cas le plus défavorable). Cette durée correspond à la période durant laquelle le soleil brille sans interruption, du lever au coucher, par un ciel sans nuages, perpendiculairement à la surface des pales, lorsque l'éolienne tourne. Ces outils permettent également de déterminer la durée probable de projection d'ombre en tenant compte des conditions météorologiques habituelles (p. ex. longues séries de mesures de MétéoSuisse). La règle généralement admise est qu'à l'est et à l'ouest, l'ombre devient de plus en plus diffuse à partir d'une distance de 1000 à 1400 m (selon la hauteur de l'éolienne, de 150 à 200 m) et n'est plus perceptible (LfU 2016).

Si des lieux d'immissions sensibles se trouvent dans les environs, il est conseillé de faire établir une expertise sur la projection d'ombre, qui déterminera, pour chacun de ces lieux, la durée maximale probable du phénomène du point de vue astronomique.

6.2.4 Remarques concernant les mesures

- Les atteintes liées à la projection d'ombre périodique et au clignotement artificiel dans les lieux d'immissions sensibles peuvent être réduites au strict minimum, voire évitées complètement, par une planification soigneuse et un choix judicieux du site d'implantation des éoliennes.
- Si les prévisions indiquent que la durée de la projection d'ombre en un lieu d'immissions donné risque de dépasser le seuil critique, il est possible de proposer et de prévoir des mesures d'amélioration dès la phase de planification et d'autorisation.
- Les éoliennes modernes peuvent être équipées d'un dispositif d'arrêt automatique qui saisit la situation météorologique concrète de projection d'ombre à l'aide de capteurs de rayonnement ou de luminosité et limite ainsi la durée de ce phénomène de manière ciblée sur place.

7 Procédure

7.1 Répartition des compétences

Les compétences en matière de procédure, qu'il s'agisse de la planification ou de l'évaluation d'installations nouvelles ou existantes, ainsi que le traitement des recours concernant les émissions lumineuses, relèvent d'une manière générale des autorités administratives et judiciaires désignées par le droit cantonal (voir art. 36 LPE). Ainsi, c'est l'office des constructions de la commune ou l'office cantonal des ponts et chaussées qui se prononce sur l'installation d'un éclairage public. En fonction de la répartition des compétences au sein du canton, l'autorité en charge des constructions consultera le service cantonal de protection de l'environnement et – si le projet affecte des espèces protégées ou menacées, des espèces pour lesquelles la Suisse assume une responsabilité particulière ou des biotopes dignes de protection – le service de protection de la nature et du paysage.

Pour les installations d'éclairage des infrastructures fédérales, la compétence relève des autorités fédérales (voir art. 41, al. 2, LPE). La procédure est habituellement menée par une autorité directrice, qui consulte l'Office fédéral de l'environnement à titre de service spécialisé.

La Confédération surveille de manière générale l'exécution de la LPE, coordonne les mesures d'exécution et publie des prescriptions sur la mise en œuvre ainsi que des aides à l'exécution.

7.2 Plans directeurs et plans d'affectation

Dans la pratique, les émissions lumineuses peuvent être réduites à différents niveaux, dans le cadre de procédures de planification ou d'aménagement (du territoire) :

- *Plans directeurs* : des principes relatifs à la réduction des émissions lumineuses peuvent être définis au niveau du plan directeur déjà. On peut y arrêter que l'éclairage artificiel du ciel nocturne doit être autant que possible évité et que les installations doivent être optimisées de manière à ce que les objets visés soient éclairés de façon précise et efficace.
- *Règlements communaux sur les constructions et l'affectation, règlements sur les constructions et l'aménagement ou plans de zones* : ces instruments de planification communaux définissent la manière de construire et d'affecter les biens-fonds ; ils peuvent par conséquent prévoir également des règles contraignantes sur la protection contre les émissions lumineuses. Ils jouent un rôle important en matière de réduction de ces émissions, puisqu'ils peuvent contenir des prescriptions sur l'affectation et les émissions dans les différentes zones. Une commune peut très concrètement délimiter dans son plan de zones des domaines où l'éclairage artificiel est autorisé et d'autres où il est interdit.
- *Concepts et stratégies* : depuis quelques années, des concepts ou des stratégies d'éclairage ont vu le jour dans bien des régions ou communes, en complément des instruments d'aménagement du territoire qui définissent l'affectation et le développement du territoire concerné. Appelés « Plan Lumière » ou « Licht-Masterplan », ils tiennent compte des effets de la lumière aussi bien sur le voisinage que sur tous les types de biotopes et de paysages (voir aussi annexe A4).

7.3 Procédure d'autorisation

7.3.1 Autorisation obligatoire

Les installations d'éclairage et les installations ou constructions avec éclairage intégré peuvent être soumises à autorisation par la loi fédérale sur l'aménagement du territoire (LAT) et par le droit cantonal sur les constructions (voir annexe A3.2.4). Dans le cadre des procédures d'autorisation correspondantes, il faut, au cas par cas, vérifier si les exigences environnementales en vigueur sont respectées, en particulier celles qui concernent les émissions lumineuses. C'est le droit cantonal qui définit quels bâtiments et installations sont soumis à autorisation et lesquels ne le sont pas. Le droit sur les constructions étant cantonal et communal, cette réglementation varie d'un endroit à l'autre (voir annexe A3.3).

Une estimation de l'impact selon le chapitre 4 peut aider à décider quels éclairages soumettre à autorisation ou pour quels éclairages intégrés dans des bâtiments ou installations soumis à autorisation il convient d'exiger une documentation et des mesures dans le cadre de la procédure.

7.3.2 Exigences posées pour la documentation

La personne détentrice de l'installation ou le maître d'ouvrage devrait être tenu de remettre une documentation présentant l'éclairage ou le plan d'éclairage dans le cadre de la procédure d'autorisation, comme partie intégrante du dossier de requête. Les exigences à remplir par cette documentation sont valables aussi bien pour des installations nouvelles que pour la modification ou l'assainissement d'installations existantes (p. ex. remplacement de lampes).

Les informations à fournir seront plus ou moins amples et détaillées en fonction de l'impact de l'éclairage (voir tableau 10) :

Tableau 10

Ampleur de la documentation en fonction de l'impact

Indice d'impact selon la matrice de la figure 3	Ampleur de la documentation (contenu, voir Tableau 11)	Commentaire
0	–	• Aucune documentation requise
1	Données de base	• Si l'installation est soumise à autorisation, la documentation doit être remise dans le cadre de la procédure d'autorisation • Si une installation (même si elle n'est pas soumise à autorisation) fait l'objet de réclamations, la documentation doit être remise lors de la procédure d'évaluation
2	Données élargies	• Pour une installation ayant peu d'effet (0) sur les espaces extérieurs ou pour les installations usuelles de l'endroit, les données de base peuvent suffire à titre exceptionnel
3	Données détaillées	• Pour une installation ayant un effet moyen (1) sur les espaces extérieurs ou pour les installations usuelles de l'endroit, des données élargies peuvent suffire à titre exceptionnel
4	Données détaillées	–

Le dossier remis permet aux autorités d'examiner si les installations à évaluer sont conformes à la législation sur la protection de l'environnement. Le point 3.3 décrit des mesures d'ordre général et l'annexe A5 propose des mesures spécifiques à différents types d'installations.

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

Tableau 11
Documentation sur l'éclairage dans le cadre de procédures d'autorisation

Documentation	Titre	Contenu	
Données de base	But de l'éclairage	• Informations concernant le but de l'éclairage	
	Plan de situation	• Emplacement de l'installation et des lampes	
	Technologie utilisée	• Technologie d'éclairage utilisée (données de base)	
	Gestion dans le temps	• Indications concernant les heures d'exploitation et éventuellement les différents états d'exploitation de l'éclairage (p. ex. intensités, zones éclairées différemment selon l'heure, etc.) • Le cas échéant, indications sur la gestion en fonction des besoins (temps ? dynamique ? avec détecteur de mouvement ? profil de gradation / cycles de fonctionnement pour les adaptations dynamiques ? etc.)	
Données élargies	Mesures	• Mesures prévues pour réduire les émissions lumineuses et estimation de leur effet	
	Données détaillées	Fiches de données sur les lampes	• Représentation des lampes utilisées (photos, esquisses détaillées ou analogue) • Lampe(s) utilisée(s) (p. ex. LED, lampes à vapeur au sodium, lampes aux halogénures métalliques, etc.) • Couleur de la lumière (température de couleur en kelvins) / spectre lumineux • 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 • Éventuels protections contre l'éblouissement et écrans protecteurs • Indications concernant les systèmes de commande (gradation de l'intensité, détecteurs de mouvement, etc.)
		alentours (voir point 4.4)	• Zone environnante selon le tableau 4 du point 4.4 • Habitations les plus proches • Espaces naturels dignes de protection, habitats d'animaux sensibles à la lumière • Éventuellement topographie ¹⁾ • Éventuellement propriétés du sol ²⁾
		Normes et autres exigences	• Indications concernant les normes à respecter ou d'autres exigences ³⁾
		Calculs de l'éclairage	Calculs de l'éclairage ⁴⁾ eu égard : • à la surface utile • à la surface éclairée en dehors de la surface utile • aux façades d'immeubles d'habitation voisins

Remarques concernant le tableau :

¹⁾ Des caractéristiques topographiques spéciales (p. ex. site surélevé ou pente) peuvent induire des situations particulières du point de vue de l'effet de la lumière (vue directe dans les lampes, effet accru à distance, etc.). Ces éléments doivent être pris en compte dans la planification.

²⁾ 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 réfléchiée vers le haut. Avec de la neige, dont le facteur de réflexion est élevé, un éclairage faible suffit par exemple à illuminer des pistes de ski alpin ou de ski de fond.

³⁾ Les normes (relatives par exemple aux lieux de travail extérieurs, à l'éclairage des sites industriels, aux infrastructures de sport, aux routes, etc. ; voir annexe A3.4) définissent des exigences minimales pour la qualité de l'éclairage, alors que d'autres prescriptions (p. 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 (p. ex. respect des valeurs maximales ; pas de dépassement des valeurs minimales définies par les normes).

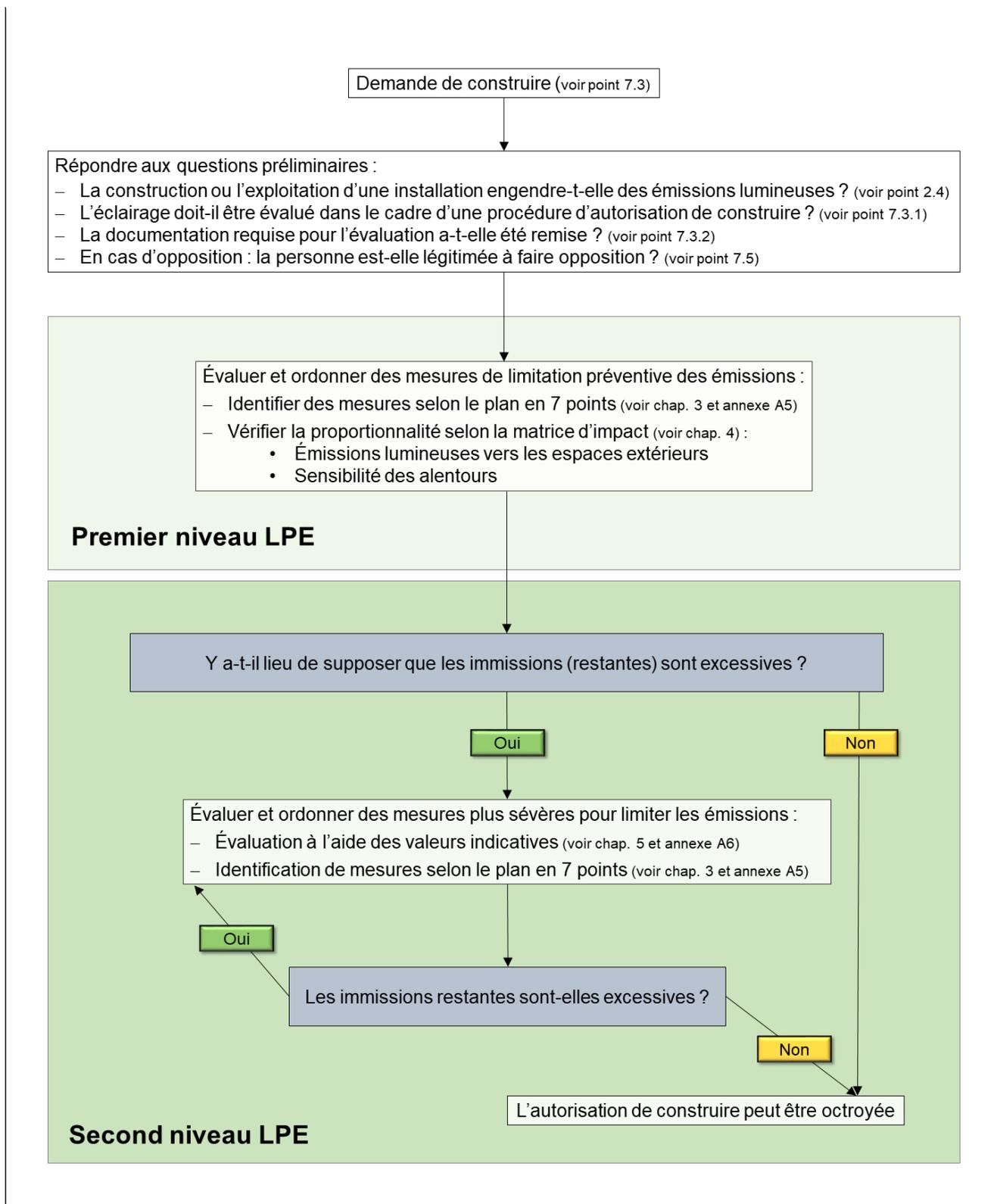
⁴⁾ Pour les installations d'éclairage devant satisfaire à des normes, la planification prévoit généralement des calculs pour démontrer que les exigences sont respectées (p. ex. éclairage horizontal ou uniformité), en référence à la surface utile. Si l'installation d'éclairage est déjà modélisée pour 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'éclairage vertical permet d'évaluer l'illumination indésirable des locaux d'habitation).

7.3.3 Démarche à suivre pour les autorisations

L'arbre de décision de la figure 7 explique comment procéder pour l'autorisation d'un éclairage (installation séparée ou intégrée dans une installation globale) :

- D'abord, il convient de vérifier si l'objet à autoriser entre dans le champ d'application de la LPE. C'est le cas s'il s'agit d'une installation dont la construction ou l'exploitation produit des émissions lumineuses (voir point 2.4).
- Ensuite se pose la question de savoir si l'éclairage requiert une autorisation ou s'il doit être évalué dans le cadre d'une procédure d'autorisation requise pour d'autres motifs. Dans l'affirmative, il faut s'assurer que la documentation nécessaire pour l'évaluation est disponible (voir point 7.3.2).
- Si des oppositions sont déposées contre le projet de construction, il faut vérifier si les auteurs sont légitimés à le faire (voir point 7.5).
- Une fois l'examen des questions préliminaires achevé, il convient d'évaluer les émissions lumineuses liées au projet en s'appuyant sur l'art. 11 LPE. Dans un premier temps, il faut vérifier, selon l'art. 11, al. 2, LPE, si toutes les mesures préventives pour limiter les émissions lumineuses à la source sont mentionnées dans la demande de construire. Toutes les mesures qui sont proportionnées doivent être ordonnées. L'évaluation peut s'appuyer sur le plan en 7 points (voir chap. 3, annexe A5) et sur la matrice d'impact (voir chap. 4).
- Lorsque l'autorité d'exécution a de bonnes raisons de croire que, malgré la mise en œuvre des mesures préventives de limitation des émissions, les immissions restantes pourraient être excessives pour les personnes touchées (voir chap. 5 et annexe A6), des investigations approfondies doivent être entreprises.
- L'art. 11, al. 3, LPE prévoit que des mesures supplémentaires (plus sévères) doivent être étudiées et ordonnées pour limiter les émissions (voir chap. 3, annexe A5), jusqu'à ce que les valeurs indicatives soient respectées ou que les immissions lumineuses ne soient plus jugées nuisibles ou incommodes.

Figure 7
Schéma de la procédure d'autorisation



7.4 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 ainsi que toutes les exigences prévues pour ce type d'installation dans les plans d'éclairage communaux, les règlements de construction, les plans d'affectation et les plans de zone. En l'absence de procédure d'autorisation, cet aspect n'est toutefois pas vérifié au préalable par une autorité.
- Les autorités compétentes peuvent effectuer des contrôles d'office ou suite à des réclamations formulées par des riverains, 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 éclairages décoratifs et illuminations de Noël constituent une catégorie à part d'équipements non soumis à autorisation. L'annexe A5.9 fournit des informations supplémentaires à ce sujet.

7.5 Légitimation des riverains à faire opposition ou à déposer une réclamation

Les voisins peuvent faire une réclamation au sujet d'émissions lumineuses jugées inadmissibles. Si une procédure d'autorisation est réalisée, c'est dans ce cadre qu'ils doivent intervenir, par exemple en formulant une opposition. Il ressort de la jurisprudence du Tribunal fédéral que les personnes habilitées à émettre des réclamations, dans le cadre de procédures d'autorisation ou en dehors de celles-ci, et à faire recours sont à tout le moins celles qui, sûrement ou du moins très probablement, sont affectées par les immissions (p. ex. la lumière) occasionnées par la construction ou l'exploitation de l'installation concernée. Si les atteintes touchent un vaste territoire, un grand cercle de personnes peut être légitimé à faire recours.

En ce qui concerne les immissions lumineuses, une atteinte particulière doit en règle générale être reconnue lorsque la source lumineuse se trouve directement dans le champ visuel et qu'elle est clairement perceptible. C'est le cas généralement dans un rayon de 100 m, à condition que l'éclairage présente une certaine intensité minimale. S'il n'y a pas de contact visuel direct ou que l'éloignement est grand, l'éclairage participe à l'illumination du ciel nocturne, ce qui touche pratiquement toutes les personnes vivant dans la région. Dans ce type de situation, il faut des circonstances particulières pour que l'atteinte puisse être reconnue. Pour évaluer si une personne est exposée à des immissions lumineuses clairement perceptibles qui l'affectent spécialement, il faut recourir à des critères qualitatifs (type de lumière) et quantitatifs (p. ex. degré d'illumination indésirable des locaux d'habitation). Il faudra alors tenir compte notamment des alentours et des émissions lumineuses préexistantes (ATF 140 II 214, consid. 2.3 s.).

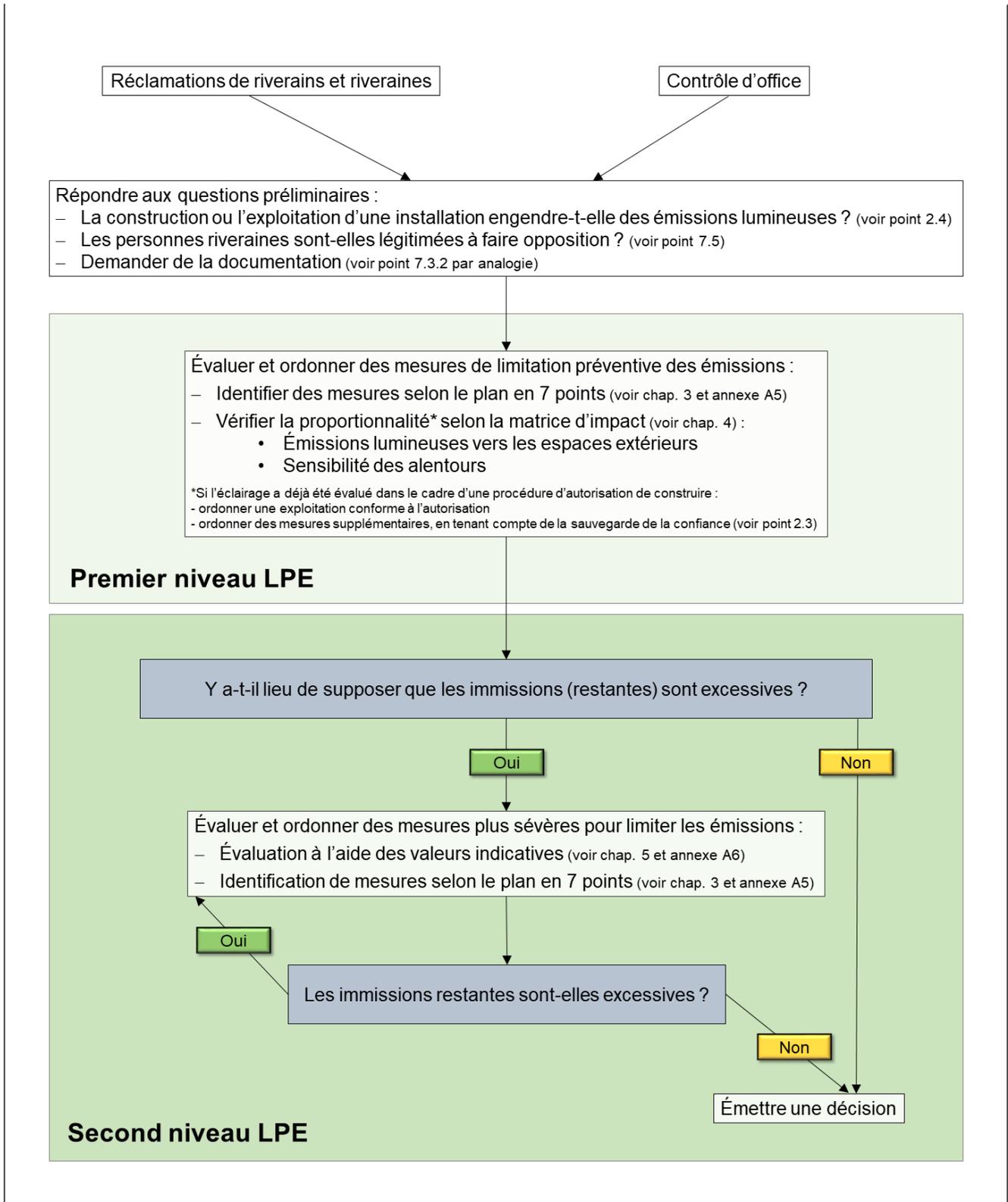
Pour les grandes infrastructures, le droit de faire recours peut se limiter à certaines parties de l'installation. En conséquence, des mesures de limitation des émissions ne pourront être ordonnées que pour des sources lumineuses données (p. ex. lampes sur le toit, enseigne lumineuse) (voir ATF 140 II 214, éclairage de la gare d'Oberrieden See).

7.6 Démarche en cas de réclamations et de contrôles d'office

L'arbre de décision de la figure 8 explique la démarche à suivre en cas de réclamation et de contrôles d'office :

- L'autorité compétente doit commencer par vérifier si les faits faisant l'objet de la réclamation ou qui doivent être contrôlés entrent dans le champ d'application de la LPE. C'est le cas lorsque des émissions lumineuses résultent de la construction ou de l'exploitation d'une installation (voir point 2.4).
- En cas de réclamation, il convient en outre d'examiner si les personnes affectées sont habilitées à faire faire recours (voir point 7.5).
- L'autorité doit alors mener des investigations supplémentaires au sujet des faits et demander la remise de la documentation nécessaire à l'évaluation (par analogie au point 7.3.2).
- Une fois l'examen des questions préliminaires achevé, les émissions lumineuses contestées doivent être évaluées sur la base de l'art. 11 LPE. Dans un premier temps, il s'agit d'étudier, selon l'art. 11, al. 2, LPE, quelles mesures préventives peuvent être prises à la source pour limiter les émissions. Il convient d'ordonner toutes les mesures qui sont proportionnées. L'évaluation peut s'appuyer sur le plan en 7 points (voir chap. 3, annexe A5) et sur la matrice d'impact (voir chap. 4).
- Si les émissions lumineuses ont déjà été évaluées dans le cadre d'une procédure d'autorisation de construire antérieure, il convient de tenir compte également de l'intérêt du détenteur de l'installation, à savoir de la sauvegarde de la confiance (voir point 2.3).
- Lorsque, après la mise en œuvre des mesures préventives visant à limiter les émissions, l'autorité a des raisons de supposer que le niveau des immissions pourrait encore être excessif pour les personnes touchées (voir chap. 5 et annexe A6), elle doit procéder à des investigations approfondies.
- L'art. 11, al. 3, LPE prévoit que des mesures supplémentaires (plus sévères) doivent être étudiées et ordonnées pour limiter les émissions (voir chap. 3, annexe A5), jusqu'à ce que les valeurs indicatives soient respectées ou que les immissions lumineuses ne soient plus jugées nuisibles ou incommodantes.

Figure 8
Schéma de la procédure à suivre pour les réclamations et les contrôles d'office



Annexe

A1 Conséquences des émissions lumineuses

La lumière artificielle peut avoir des conséquences indésirables pour l'être humain, la diversité des espèces et le paysage nocturne, comme expliqué ci-après.

A1.1 Conséquences pour l'être humain

A1.1.1 Généralités

Pour la santé et le bien-être de l'être humain, 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 incommodes 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 incommode 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 mentionne spécifiquement les éblouissements et la gêne causés par une illumination excessive des locaux résidentiels. Une éventuelle influence des sources de lumière artificielle sur le rythme biologique circadien fait également l'objet de recherches intensives (effets dits « chronobiologiques »).

A1.1.2 Éblouissement

Pour l'éblouissement, on distingue l'effet physiologique de l'effet incommode. Dans la littérature spécialisée, ce dernier est aussi appelé « éblouissement psychologique⁸ » 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).

A1.1.3 Éblouissement incommode durant la nuit

On parle d'éblouissement incommode 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 incommode ne dépend pas d'une perturbation de l'acuité visuelle. On peut par exemple considérer comme incommode une source lumineuse qui attire le regard sans apporter d'information importante et ne fait ainsi que distraire. Selon une autre

⁸ Moshhammer 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 incommode » par analogie avec la terminologie de la loi sur la protection de l'environnement (LPE).

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).

A1.1.4 Illumination indésirable des locaux d'habitation

Par illumination indésirable 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).

A1.1.5 Effets chronobiologiques

Le cycle veille-sommeil de l'être humain 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'être humain et induisent souvent des expositions plus importantes que les sources extérieures. Outre les perturbations du cycle veille-sommeil dues aux nouveaux équipements tels que les lampes économiques et LED ou à la lumière des écrans (p. ex. écrans LED, tablettes), ces études abordent aussi les éventuels dégâts photochimiques portés à la rétine (« blue light hazard ») et les phénomènes de scintillement.

Pour les éclairages 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, pp. 1 à 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).

A1.2 Effets sur la nature

A1.2.1 Généralités

La pollution lumineuse, ou la perte de l'obscurité nocturne, est l'une des pollutions de l'environnement les plus fréquentes et probablement celle qui augmente le plus rapidement (Hölker et al. 2010a cité selon Robert et al. 2015). Globalement, elle augmente d'environ 6 % par an et elle est considérée comme l'une des principales menaces pour la biodiversité (Hölker et al. 2010a). La lumière et l'obscurité constituent une ressource importante, à l'instar de l'eau ou de l'air propre (Gaston et al. 2013). De nombreux processus physiologiques et comportements dépendent de la lumière ou de l'obscurité (Gaston et al. 2013). Ainsi, la majeure partie des plantes ont besoin de soleil pour la photosynthèse, mais l'obscurité leur est également bénéfique. Des études ont en effet révélé qu'elles profitaient de la

nuit noire pour réparer des dégâts, processus qui est enrayé par la lumière artificielle (Vollsnes et al. 2009). L'obscurité constitue également une niche à laquelle différents organismes se sont adaptés afin d'éviter par exemple la concurrence avec d'autres espèces ou d'échapper aux prédateurs (Gaston et al. 2013). La perte de l'obscurité nocturne due à la lumière artificielle dérange donc divers organismes, affecte leur comportement et influence ainsi les interactions entre les différentes espèces et, en fin de compte, l'ensemble de l'écosystème. Les conséquences concrètes de la lumière artificielle dépendent toutefois d'une série de facteurs, tels que la source lumineuse ou la sensibilité des organismes exposés.

Cinq paramètres de la lumière influent sur 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 agit différemment sur les espèces en fonction de leurs capacités visuelles et de leurs plages d'activité. 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.

Certains animaux sont attirés par la lumière (phototaxie positive), d'autres la fuient (phototaxie négative), d'autres encore se déplacent dans l'espace indépendamment de la luminosité ambiante. La lumière modifie également la capacité des animaux à s'orienter ; par exemple, l'éclairage nocturne perturbe les oiseaux migrateurs dans leur comportement migratoire (Van Doren et al. 2017).

Ces répercussions directes sur le sens de l'orientation ainsi que l'effet d'attraction ou de répulsion liés à des sources de lumière artificielle influent sur le comportement et donc sur les interactions avec d'autres individus de la même espèce ou avec d'autres espèces. En font notamment partie les comportements en matière de mouvement, d'alimentation, de concurrence et de reproduction (Le Tallec 2014, voir figure 9).

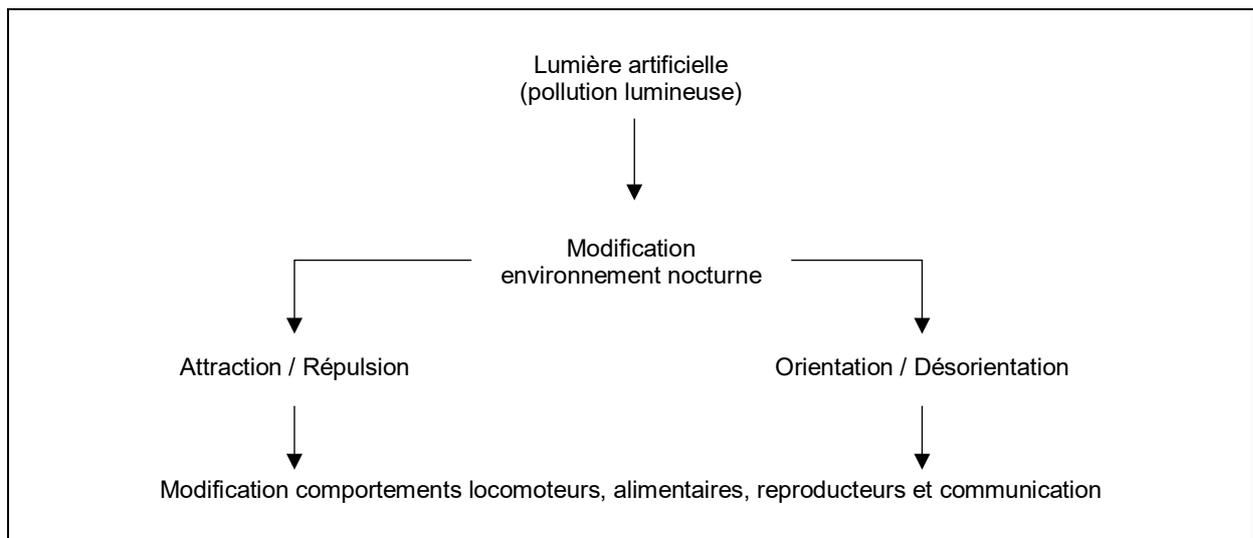


Figure 9 : La pollution lumineuse, en augmentant l'illumination de l'environnement nocturne, modifie l'attrait des individus pour un environnement donné et leurs capacités à s'y orienter. À terme, ces modifications influent sur leurs comportements en matière de mouvement, d'alimentation, de concurrence et de reproduction ainsi que sur la communication (Le Tallec 2014).

La lumière peut également avoir des effets sur la communication. Ainsi, un ver luisant mâle éprouvera plus de difficultés à trouver des congénères féminines dans un milieu éclairé artificiellement, puisque les femelles attirent les mâles par la lumière qu'elles émettent. Dans un environnement pollué par des émissions lumineuses, ces derniers perçoivent moins bien leurs partenaires potentielles, voire se dirigent par mégarde vers une source de lumière artificielle (Lloyd 1994).

Certains oiseaux et reptiles en principe diurnes semblent toutefois profiter de l'éclairage nocturne, en utilisant les surfaces illuminées pour chasser (Schwartz et Henderson 1991, cité selon Longcore et Rich 2004). Leurs proies, elles, perdent la protection de l'obscurité. L'influence de ces modifications sur la dynamique prédateur/proie n'est pas claire ; des recherches approfondies sont nécessaires pour examiner les effets à long terme de ces changements.

Les effets cumulés d'attraction/répulsion et d'orientation/désorientation ainsi que les changements de comportement qui en découlent peuvent entraîner une modification des interactions entre espèces ou la répartition des espèces dans un biotope, ce qui peut perturber le fonctionnement d'écosystèmes-clés. Un écosystème important peut ainsi 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 espèces 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.

A1.2.2 Effets sur la faune et la flore

Les conditions lumineuses durant la nuit sont restées constantes pendant des éons. C'est l'être humain ou plutôt l'éclairage artificiel qui les a drastiquement modifiées, surtout depuis quelques décennies (Gaston et al. 2014a, Hölker et al. 2010b). La plupart des organismes, l'être humain inclus, ont évolué avec le rythme naturel du jour et de la nuit. Le résultat en est l'horloge circadienne, qui joue un rôle-clé dans la régulation du métabolisme, de la croissance et du comportement (Dunlap 1999). Des photorécepteurs circadiens ont été trouvés dans la rétine de mammifères qui vivaient il y a 500 millions d'années. Le maintien du rythme circadien est un mécanisme très complexe, qui repose sur différentes boucles de rétroaction physiologiques, lesquelles sont coordonnées en permanence en fonction des stimuli reçus. Chez les vertébrés, une hormone, la mélatonine, joue un rôle central dans la régulation de différents processus : phases veille/sommeil, croissance, cycle de reproduction, période de dormance, hibernation, migration des oiseaux ; elle est ainsi associée au rythme circadien et circannuel. Or la mélatonine est synthétisée durant les phases sombres. La lumière artificielle peut perturber sa production et, partant, le rythme naturel (Mosler-Berger 2013).

Les organismes nocturnes se sont adaptés à la vie dans l'obscurité et risquent par conséquent d'être spécialement perturbés par la lumière artificielle. Ils se caractérisent souvent par des sens aiguisés, par exemple l'adaptation de l'œil (Hölker et al. 2010a), et réagissent donc très sensiblement à des modifications de la luminosité. On suppose que ce type d'adaptation, qui a permis à certains mammifères de changer la nuit en jour, a contribué dans une large mesure au succès de leur développement (Hölker et al. 2010a). Aujourd'hui, quelque 30 % des vertébrés et plus de 60 % des invertébrés sont nocturnes (Hölker et al. 2010a). Ces organismes constituent par conséquent une partie substantielle de la biodiversité actuelle. La perte progressive de l'obscurité nocturne et les conséquences qui en découlent menacent tout spécialement cette faune qui s'est adaptée à la nuit. La lumière artificielle peut cependant aussi avoir de répercussions négatives sur des organismes diurnes. On a ainsi déjà pu observer des oiseaux chanteurs qui ont commencé à chanter plus tôt le matin, voire durant la nuit, ce qui peut entraîner des dépenses d'énergie supplémentaire et donc finalement à une baisse de forme (Miller 2006, Dominoni et al. 2014). Les conséquences affectent une multitude d'organismes et compromettent la conservation de la biodiversité (Hölker et al. 2010a).

Mammifères

La réponse des mammifères à la lumière dépend de différents facteurs. Les espèces n'ont pas toutes les mêmes périodes d'activité et beaucoup d'animaux nocturnes disposent d'un organe de la vision aux capacités d'adaptation particulières (Walls 1942).

Ce sont ces adaptations, présentent spécialement chez les espèces actives la nuit et au crépuscule, mais aussi chez les espèces cathémérales (sans périodes d'activité spécifiques), qui sont à l'origine des perturbations provoquées par la lumière artificielle durant la nuit (Rich and Longcore 2006). Cette affirmation vaut pour environ 70 % des mammifères (Bennie et al. 2014 ; Jones et al. 2009 cités d'après Prugh and Golden 2013) ; 44 % sont jugés nocturnes et 29 % sont soit crépusculaires (actives au crépuscule), soit cathéméraux (ni diurnes, ni nocturnes). Les adaptations à la vie dans l'obscurité sont par exemple de grandes pupilles, qui permettent de capter davantage de lumière, un cristallin agrandi, ce qui minimise l'aberration sphérique, et une rétine riche en bâtonnets (Walls 1942). Lors-

que la luminosité est forte, les pupilles se contractent, mais même cette réaction ne parvient généralement pas à empêcher une sursaturation des bâtonnets et donc un éblouissement des animaux pendant un bref moment (Perlman et Normann 1998). Dans les milieux naturels fragmentés par des routes, les collisions sont de plus en plus fréquentes, du fait de l'attraction par la lumière – souvent due à la concentration accrue de proies – mais aussi en raison de l'éblouissement des animaux (Dean et al. 2019).

Les conséquences de l'éclairage artificiel vont toutefois au-delà de la simple perturbation de la vision. La lumière artificielle influe également sur l'horloge biologique/interne des mammifères, ce qui se répercute aussi bien sur leur rythme circadien que sur leur perception des modifications saisonnières (Häder 2004 ; Arendt J. 1998). Ainsi, les périodes d'activité des organismes diurnes se prolongent dans la nuit (Häder 2004) ou des animaux nocturnes ne deviennent actifs que plus tard, ce qui raccourcit leur période d'activité (Le Tallec et al. 2013). Les périodes de reproduction peuvent également en subir un décalage (Le Tallec et al. 2016 ; Robert et al. 2015), ce qui peut se répercuter sur la disponibilité des sources de nourriture et donc sur la capacité à élever les petits. Les essais en laboratoire ont en outre révélé des conséquences physiologiques, par exemple des atteintes au système immunitaire, des modifications de la réponse au stress (Bedrosian et al. 2011 et 2013) ainsi qu'une baisse des capacités cognitives (Fonken et al. 2012).

Même lorsque la lune est la seule source de lumière, certains animaux, le plus souvent de petits rongeurs, tentent de réduire le risque de prédation, car la pleine lune (Daly et al. 1992) ou les nuits claires (Upham et Hafner 2013 ; Longland et Price 1991) les rendent plus visibles. Ils évitent ainsi les espaces ouverts, affichent une vigilance accrue, leur fréquence cardiaque augmente ainsi que la distance de fuite, ils limitent leur recherche de nourriture et/ou la durée totale de leur activité ou concentrent leur activité sur les heures les plus sombres de la nuit, ce qui se répercute sur le bilan énergétique et donc sur leur forme (Prugh et Golden 2014). Il n'est cependant pas permis d'en déduire d'une manière générale que l'influence de la lumière artificielle est négative pour les petites proies et plutôt favorable aux prédateurs. On a ainsi pu constater que certains rongeurs ont même augmenté leur activité. L'hypothèse à ce propos est que ces espèces profitent de conditions de visibilité meilleures, ce qui leur permet de voir plus vite les prédateurs, ce qui réduit le risque de prédation perçue. Les espèces qui ne misent pas ou peu sur leur vision sont indifférentes à la visibilité. L'effet de la lumière dépend également de facteurs tels que la structure des environs. Lorsque celle-ci est riche, les proies sont mieux protégées et bougent davantage que dans les espaces ouverts. La situation est tout aussi complexe du côté des prédateurs, comme l'ont montré des études sur les blaireaux par exemple (Cresswell et Harris 1988). Un aspect à ne pas perdre de vue est que les prédateurs peuvent être les proies d'autres chasseurs ou de congénères plus âgés.

Chauves-souris

La majeure partie des espèces de chauves-souris est sensible à la lumière (lucifuges), tels les murins, les rhinolophes (*Rhinolophus*) et les oreillards (*Plecotus*) alors que d'autres ne sont pas gênées par les éclairages. Au contraire, les espèces de chauves-souris non lucifuges (*Nyctalus*, *Eptesicus* et *Pipistrellus*) chassent même une grande partie ou même la quasi-totalité de leur nourriture (insectes) près des lampadaires et éclairages artificiels. Ces différences entre les espèces peuvent avoir pour conséquence que l'éclairage nocturne affecte la concurrence interspécifique. Dans des cas extrêmes, cela peut aboutir à l'exclusion d'espèces en concurrence. Un bon exemple est celui du petit rhinolophe (*Rhinolophus hipposideros*), dont les populations ont décliné rapidement dans de nombreuses régions. Une très grande priorité est aujourd'hui accordée à cette espèce sur le plan national. Ces animaux sont lucifuges et n'utilisent donc pas les insectes attirés par les lampes comme source de nourriture. Après l'installation de lampadaires dans plusieurs vallées des Alpes valaisannes, cette espèce s'est presque éteinte localement. Ces vallées ont alors été colonisées par des pipistrelles communes (*Pipistrellus pipistrellus*), une espèce largement répandue qui n'est pas lucifuge et qui est attirée par les proies faciles présentes près des lampadaires. La taille de ces deux espèces est similaire et leurs proies sont les mêmes. Il est donc possible que la disparition locale des petits rhinolophes ait été provoquée par l'exclusion compétitive résultant de l'installation de l'éclairage public dans ces vallées (Arlettaz et al. 2000).

Même si loin des lampes, 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 de nuit (Lépidoptères) que de mouches et de coléoptères. Cet avantage apparent pour les chauves-souris ne se confirme toutefois 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 leurs quartiers à leurs territoires de chasse, les chauves-souris suivent souvent des routes de vol traditionnelles en se référant à des structures paysagères linéaires, telles que 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 couloirs de vol (effet barrière) ou réduire considérablement leur perméabilité. On sait que certaines espèces de chauves-souris des forêts (telles que les murins de Bechstein, les murins de Natterer, les murins à moustaches), les myotis, les oreillards ou les rhinolophes évitent la lumière et les zones éclairées. Ces espèces sont alors forcées de faire parfois de longs détours pour accéder à leurs territoires de chasse.

Pendant 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 quartiers de jour (éclairage de façades, p. ex.) 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 quartier de jour 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, Fondation pour la protection des chauves-souris 2015).

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 trois façades d'une tour où se trouve une colonie d'oreillards 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).

Oiseaux

Une grande partie des oiseaux migrateurs se déplace de nuit au printemps (de mars à mai) et en automne (d'août à novembre). Leurs principaux repères sont les étoiles et le champ magnétique terrestre. La lumière artificielle perturbe cette orientation, spécialement en présence de brouillard dense ou de bancs de nuages. L'éclairage dans les agglomérations peut alors créer un dôme ou halo lumineux (« light dome ») qui attire les oiseaux et les dévie de leur trajet migratoire. La lumière artificielle peut ainsi retarder ou prolonger le voyage des migrateurs. Les oiseaux sont parfois attirés également par des sources lumineuses ponctuelles telles que des gratte-ciel, des émetteurs ou des faisceaux lumineux dirigés vers le ciel (projecteurs ou skybeamers) (Station ornithologique suisse 2021).

Différents types de sources lumineuses :

- *Dôme lumineux (on trouve aussi le terme halo)* : 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 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 ne sortent souvent de ce piège 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 est perturbée non seulement par la somme des surfaces éclairées, 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 artistique). Bien que les constructions très élevées soient plus rares en Suisse que dans d'autres pays, des collisions sont régulièrement attestées, par exemple au Prime Tower à Zurich ou à la tour de Roche à Bâle. 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). De nombreux cas de collision de masse ont d'ailleurs déjà été répertoriés à cause de l'éclairage de petites surfaces. En Suisse, dans les années 1970, des milliers d'oiseaux se sont écrasés contre une paroi de glace de la Jungfrau, alors éclairée par un projecteur publicitaire (Bruderer 2002).
- *Faisceaux lumineux orientés vers le ciel* : les faisceaux lumineux intenses et soudains (projecteurs ou skybeamers) influencent le comportement des migrateurs quelles que soient les conditions de visibilité. Des études ont montré que des projecteurs d'une intensité de 200 watts seulement, et non 1000 watts comme les projecteurs publicitaires, suffisaient à effrayer 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, la durée du sommeil des oiseaux est réduite : dans les parcs ou les rues éclairées, ils commencent à chanter plus tôt le matin qu'en forêt ou chantent pendant la nuit (Bergen & Abs 1997 ; Derrickson 1988 ; Rapp 2015). 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 engraisseront plus rapidement et regagneront 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).

L'éclairage artificiel influe en outre sur la recherche de nourriture des oiseaux. Les espèces qui utilisent leur vision pour ce faire peuvent dans certaines circonstances profiter de l'éclairage et augmenter ainsi leurs apports nutritifs (Gwyer et al. 2012 ; Mougéot et Bretagnolle 2000 ; Dice 1945). D'autres répercussions pourraient leur être moins favorables, car leur risque de devenir eux-mêmes des proies pourraient s'en trouver accru ; ce point est dans bien des cas encore trop peu étudié (Santos et al. 2010).

Reptiles

En Suisse, aucune espèce de reptiles n'est exclusivement nocturne, les températures étant trop basses 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).

Amphibiens

Les amphibiens ont des cycles de vie complexes, comprenant une phase aquatique et l'autre terrestre. Ils ont donc besoin de différents types d'habitats et sont de ce fait exposés à de multiples

sources de stress environnemental. Qui plus est, la majeure partie des espèces sont actives au crépuscule ou la nuit.

Anoures (grenouilles et crapauds)

Les populations d'anoures en 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 aménagés 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, crapauds, bombina) a montré par exemple que 87 % de 121 espèces sont attirées 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 évolué 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 gêne 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 voire 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). En outre, les crapauds qui utilisent les routes éclairées comme terrain de chasse risquent d'être écrasés par des voitures (Brüning et Hölker 2015).

À 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 chantent moins ou plus du tout sous une lumière intense (Baker et Richardson 2006 ; Longcore et Rich 2004) ou chantent depuis des zones moins cachées afin de voir les éventuels prédateurs approcher.

Urodèles (salamandres et tritons)

Tout comme les autres amphibiens, les salamandres et les tritons sont très sensibles aux perturbations dans leur environnement, spécialement à la lumière artificielle. Leurs populations sont globalement en déclin.

De nombreuses études démontrent des changements dans le comportement et les fonctions physiologiques des salamandres et des tritons 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. Il peut ainsi arriver que la lumière perturbe le sens de l'orientation des tritons et qu'ils peinent à trouver leurs eaux de fraie ou leur biotope terrestre/leurs quartiers d'hiver (Perry et al. 2008 ; Philips and Borland 1992).

Les différentes espèces de salamandre ne réagissent pas toutes à la lumière de la même manière. Certaines fuient les sources lumineuses tandis que d'autres sont attirées. Les conséquences de la lumière artificielle dépendent de différences spécifiques des espèces, par exemple la préférence pour certaines proies (insectes attirés ou pas par la lumière) et le type de lumière (intensité/spectre). Il n'existe pas d'études sur le sujet pour les deux espèces présentes en Suisse.

En présence de poissons-prédateurs qui s'orientent grâce à la lumière, les larves de salamandre passent d'une activité diurne à une activité nocturne. À 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 chasse des prédateurs diurnes, forçant les larves à rester inactives pendant de plus longues périodes (Wise & Buchanan 2005).

Poissons

Beaucoup de rivières et de lacs sont impactés par un éclairage nocturne, car les localités ont toujours été concentrées autour des plans d'eau et illuminent ainsi les zones environnantes (Brüning et Hölker 2015). La lumière artificielle peut éblouir des organismes aquatiques également, les désorienter ou les effrayer. Comme c'est le cas pour d'autres groupes d'espèces, l'horloge intérieure des poissons peut être perturbée par la lumière (Brüning et al. 2015). Les poissons captent les variations de la luminosité à l'aide de leur organe pinéal, une saillie dorsale du cerveau intermédiaire, qui se situe sous une fenêtre perméable à la lumière dans la voûte crânienne.

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 et Dickhof 1981). Les perches (*Perca fluviatilis*) et les gardons (*Rutilus rutilus*) sont particulièrement sensibles, car leur production de mélatonine durant la nuit est presque entièrement réprimée lorsque l'intensité de la lumière atteint environ un lux. Or cette hormone participe à des processus tels que la formation de bancs, les comportements migratoires, la reproduction ou le comportement alimentaire. L'influence de la lumière artificielle peut par conséquent être très large (Brüning et al. 2015).

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 vivent dans les lacs montrent une activité généralement nocturne et une phototaxie négative, c'est-à-dire qu'elles évitent 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. Les anguilles européennes par exemple interrompent leur migration de et vers leurs zones de reproduction durant les nuits de pleine lune (Brüning et Hölker 2015) et de premiers résultats de recherche indiquent qu'elles évitent également les tronçons de rivières illuminés artificiellement (Vowles et Kemp 2021). L'éclairage artificiel peut également perturber les comportements d'accouplement et de chasse des poissons (Becker et al. 2012 ; Nightingale et al. 2005 ;

Moore et al. 2005). Ces effets se répercutent sur les populations de nombreux poissons, qu'ils soient prédateurs ou butins, et en fin de compte aussi sur la stabilité de l'écosystème.

Insectes

La disparition des insectes est un phénomène global. Une multitude d'études ont examiné aussi bien l'ampleur de la perte d'espèces et de biomasse des insectes que les causes de ce déclin. On considère que les causes principales sont : perte d'habitat, pollution de l'environnement (en particulier la pollution des sols et des eaux par des pesticides), espèces envahissantes et changements climatiques. La pollution lumineuse retient souvent moins l'attention, ce qui pourrait être lié au fait que l'être humain se préoccupe davantage de la période diurne que de la nuit. Les résultats d'études indiquent cependant que les éclairages nocturnes peuvent avoir un impact considérable sur les populations d'insectes (Kalinkat et al. 2021 ; Owens et al. 2020). Il est établi que la lumière artificielle influe sur le développement, l'activité, la recherche de nourriture et le succès de la reproduction. De plus, certains prédateurs insectivores profitent de cette lumière pour la chasse, ce qui peut également impacter les populations d'insectes. Nous présentons ci-après certains mécanismes d'action de la lumière sur les insectes.

La plupart des insectes présentent une phototaxie positive, à savoir qu'ils sont attirés par la lumière. C'est le cas des larves ou imagos de nombreux groupes d'insectes nocturnes tels que les papillons (de nuit), les coléoptères, les moustiques, les mouches, les moucherons, les syrphides, les trichoptères, les guêpes, les punaises, les grillons, etc. (Frank 1988 ; Eisenbeis et Hassel 2000 ; Koligs 2000 ; Summers 1997). Parmi les insectes à phototaxie négative, on trouve les larves des vers lumineux, qui ne réagissent indifféremment qu'à la lumière rouge (Schwalb 1961).

Il est très connu et facilement observable que les insectes sont attirés par la lumière et particulièrement par les longueurs d'onde courtes (lumière bleue et ultra-violette). Ce comportement des insectes autour des lampes conduit souvent à une très forte 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 milliards de papillons de nuit (Eisenbeis et 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 chaîne alimentaire, les effets négatifs des éclairages publics sur les insectes pourraient avoir des conséquences écologiques graves.

On décrit trois effets de la lumière sur les insectes (Eisenbeis 2005, voir figure 26) :

A) Le « *flight-to-light effect* » aussi appelé « *fixation effect* » ou « *captivity effect* » : les insectes sont dérangés dans leur activité normale par des sources lumineuses artificielles. Par exemple, un papillon de nuit parcourt 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 vole 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 retournent vers la zone d'ombre. Ils y restent sur le sol ou dans la végétation, inactifs. Ce comportement est probablement dû à un très fort éblouissement par la lampe.

B) Le « *crash barrier effect* » est une perturbation du mouvement de l'insecte dans sa trajectoire de vol de longue distance. Par exemple, un insecte longe la vallée en suivant un cours d'eau. Il utilise des repères naturels pour se diriger. La voie qu'il suit croise une route éclairée, ce qui l'empêche de poursuivre sa route. L'insecte est attiré par la lumière et subit le même sort que dans le « *flight-to-light effect* ». Avec un écart moyen de 30 à 50 m entre chaque lampadaire, les routes éclairées se transforment en barrières presque infranchissables pour les insectes nocturnes, ce qui morcelle leurs habitats.

C) Le « *vacuum cleaner effect* » (effet aspirateur) : les insectes qui généralement ne se déplacent pas sont attirés hors de leur habitat. Il en résulte que la densité des insectes peut devenir anormalement forte dans certaines zones, tandis qu'elle tombe presque à zéro dans d'autres. En conséquence, les chauves-souris par exemple ne trouveront plus de nourriture dans ces dernières.

A long terme, ces trois 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* ».

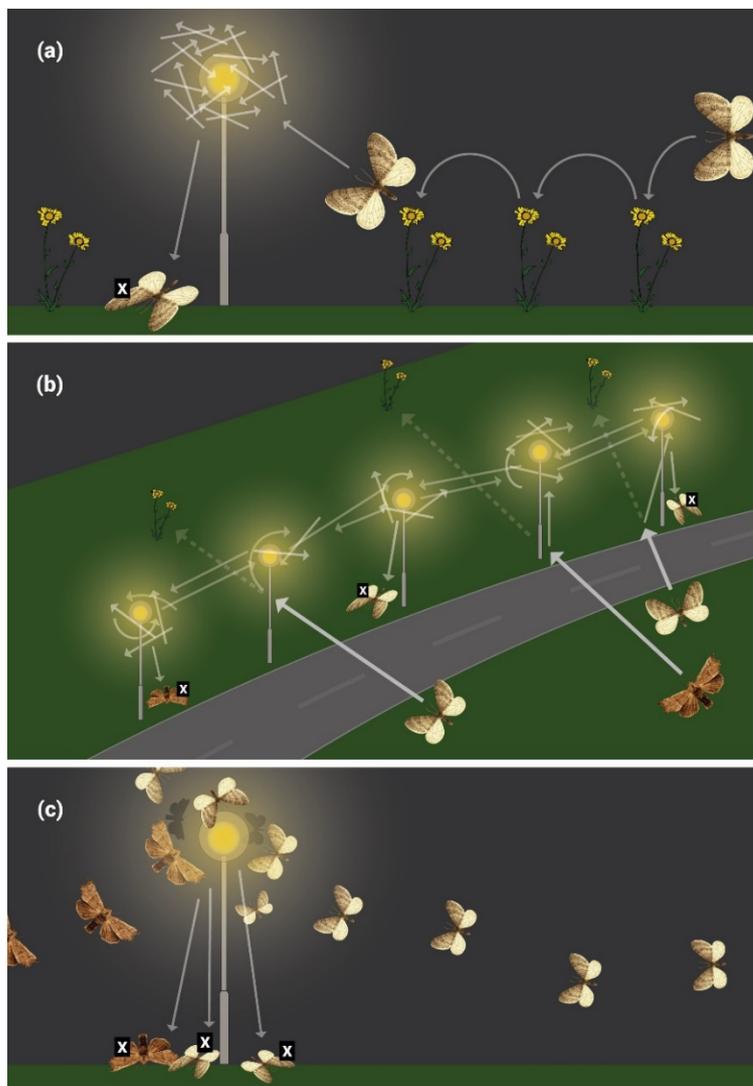


Figure 10 : Principaux effets de la lumière artificielle sur le comportement des insectes dans la zone proche des lampes : a) « fixation » ou « captivity effect », b) « crash barrier effect », c) « vacuum cleaner effect » (selon Eisenbeis 2005).

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 qui ont une plus grande capacité d'adaptation et qui sont les plus courantes 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 de nuit, les trichoptères nocturnes et les éphémères.

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 (Vaz et al. 2021 ; Frank 2005 ; Lloyd 2005).

Plantes

Les plantes sont continuellement bombardées de signaux biotiques et abiotiques, dont la lumière. Pour percevoir la lumière, les plantes utilisent quatre familles de photorécepteurs. L'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 des feuilles (induite sous l'effet de la lumière), l'élongation des tiges (inhibée sous l'effet de la lumière), le développement de l'appareil photosynthétique (induction) et la floraison (induite ou inhibée). Pour de nombreuses essences, la formation des fleurs dépend de la durée du jour, la température jouant également un rôle. 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, la recherche sur les conséquences de l'éclairage artificiel pour la flore est par contre rare. Des premières études ont toutefois constaté des modifications physiologiques chez les plantes exposées à un éclairage nocturne (Meravi et Prajapati 2018 ; Bennie et al. 2016). Ces changements avaient à leur tour une influence sur l'aspect et la croissance des plantes ainsi que sur leur utilisation des ressources.

On a pu observer qu'à l'automne, la chute des feuilles est retardée sur les branches d'arbres directement éclairées par un réverbère en raison de la prolongation artificielle du jour (voir figure 11).



Figure 11 : En automne, les branches situées directement en dessous d'un réverbère perdent leurs feuilles plus tardivement en raison de la prolongation du jour. Ce phénomène pourrait entraîner un affaiblissement des arbres à proximité des zones habitées.

A1.2.3 Effets sur les milieux naturels

Il est difficile de décrire d'une manière générale les répercussions de la lumière artificielle durant la nuit sur les milieux naturels. Il n'est même pas aisé de prévoir ou d'analyser les conséquences spécifiques dans un habitat précis, car elles dépendent d'effets cumulés de la lumière sur les différentes espèces et même sur certains individus. Mais au vu des informations susmentionnées concernant l'effet de l'éclairage nocturne sur différentes espèces ou sur des groupes d'espèces, il faut partir de l'hypothèse que l'éclairage artificiel pendant la nuit se répercute de manière significative sur les milieux naturels et sur l'intégrité fonctionnelle d'un écosystème, puisqu'il influe sur les interactions interspécifiques. Il serait donc indiqué de toujours agir selon le principe de précaution.

L'habitat des espèces lucifuges est de plus en plus restreint et morcelé du fait de la perte de l'obscurité nocturne, ce qui impacte fortement le flux génétique des espèces concernées et, partant, leurs chances de survie. L'établissement d'une infrastructure écologique constitue par conséquent l'un des éléments-clés du plan d'action de la biodiversité. La création de corridors sombres en fait partie.

Même si quelques espèces seulement sont affectées par les effets physiologiques ou les modifications du comportement, et que leur capacité à survivre s'en trouve réduite, les conséquences sont considérables pour la communauté des espèces et pour l'écosystème. La perturbation du rythme jour/nuit et le décalage des périodes d'activité peuvent se traduire par une concurrence interspécifique (accrue) (Hoffmann et al. 2018). Les éclairages des routes influent sur différentes interactions entre insectes et plantes. Il a ainsi été possible de prouver qu'en Suisse également, une partie non négligeable des plantes est pollinisée par des butineurs nocturnes (Knop et al. 2017). Certaines essences se sont même spécialisées sur les pollinisateurs nocturnes. Par ailleurs, des expériences ont démontré que le taux de pollinisation dans les zones éclairées peut baisser, certains butineurs évitant la lumière (Giavi et al. 2021). La lumière artificielle peut en outre avoir une influence sur les insectes herbivores et donc les dégâts de défoliation (Giavi et al. 2020). Les rapports prédateurs/proies peuvent également être perturbés par les influences aussi bien sur les animaux butins que sur les chasseurs (Bolliger et al. 2020).

Il y a de grandes différences entre les milieux naturels quant à leur sensibilité et à leur exposition à la lumière artificielle. L'impact est particulièrement important sur les milieux aquatiques, qui sont souvent éclairés près des villes. Un grand nombre d'espèces aquatiques est sensible 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.

Les impacts de la lumière artificielle durant la nuit et la perte de l'obscurité nocturne qui en résulte sont aussi variés que les innombrables groupes d'organismes et de milieux naturels. De nombreux facteurs ont des effets, dont l'éclairage lui-même (intensité lumineuse, spectre, durée de l'éclairage, etc.), la sensibilité de l'espèce considérée (perception de la lumière, fenêtre d'activité, etc.) et différents facteurs environnementaux (structure du milieu naturel, saisonnalité, communauté d'espèces, etc.). Il est cependant incontesté que l'illumination nocturne peut potentiellement perturber des processus physiologiques et le comportement des animaux. Les habitats d'animaux lucifuges sont fragmentés. Pour limiter les effets nuisibles au strict minimum, il faut renoncer le plus possible à l'éclairage (selon le principe de précaution, même s'il n'y a pas lieu d'escompter des effets directs dans une zone), ou n'y recourir qu'aux endroits où il est indispensable.

A1.3 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 d'importantes conséquences 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'il n'est possible d'apercevoir 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, 2013, 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. Globalement, les émissions de ce type ont plus que doublé en Suisse entre 1994 et 2020 (voir figure 12). Au cours des vingt-cinq 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 depuis 1996, ni dans le Jura depuis 2008 (OFEV et WSL 2017, 2013).

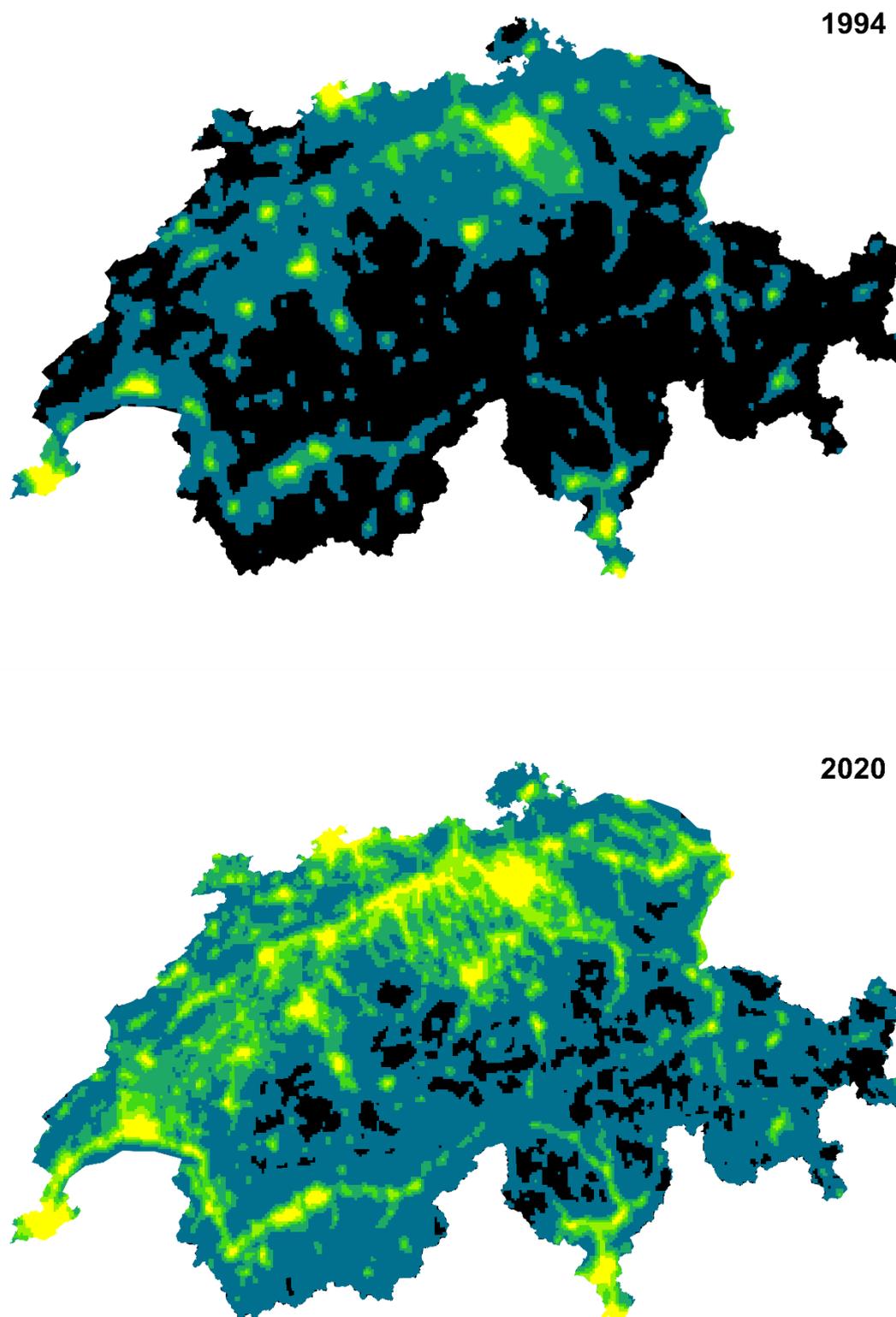


Figure 12 : Entre 1994 et 2020, les émissions lumineuses dirigées ou reflétées vers le haut ont plus que doublé. Elles se sont renforcées en particulier dans les zones d'agglomération, mais l'obscurité recule aussi dans les régions périphériques (OFEV et WSL 2017, 2013).

A2 Conflits d'objectifs et synergies

De nos jours, la *société des 24 heures* s'est établie définitivement dans certaines parties du territoire urbain, mais aussi rural (ARE 2015). Cela induit inévitablement une augmentation des émissions lumineuses : l'éclairage des lieux de travail (p. ex. immeubles administratifs, postes de travail à l'air libre, halls d'usines) 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 des salles de gymnastique, des stades ou des 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 leurs alentours (voir figure 13). 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 13 : 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 touristes (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 annexe A5.7). Les couleurs et les effets spéciaux peuvent toutefois aussi avoir l'effet inverse.

Les mesures concrètes permettant de réduire les émissions lumineuses des installations sportives et touristiques sont présentées plus spécialement dans les chapitres suivants :

- A5.2 Autres infrastructures de communication (gares, arrêts, etc.)
- A5.3 Infrastructures sportives
- A5.6 Espaces et places publics
- A5.7 Bâtiments et objets publics

A2.2 Éclairages publicitaires

Dès le début du XX^e 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 dans 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, utilisés pour l'autopromotion des commerces, 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 utilisant l'éclairage des vitrines et les enseignes lumineuses ont englouti environ 900 GWh en 2010. L'étude estime qu'il serait possible d'économiser environ 60 % de cette énergie en éteignant les équipements entre minuit et 6 heures du matin 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).

Des mesures concrètes permettant de réduire les émissions lumineuses des éclairages publicitaires sont présentées en particulier dans le chapitre suivant :

→ A5.8 Éclairages publicitaires

A2.3 Sécurité

L'éclairage joue un rôle important pour diverses questions liées à la sécurité objective ou au sentiment de sécurité individuel. La *capacité visuelle de l'être humain* peut s'adapter à une très grande plage de luminosité ambiante. 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* en passant 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 déterminante 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'être humain 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 ligne⁹, 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 les chantiers, les stations-service, les installations industrielles ou les quais ferroviaires – pour obtenir de bonnes performances et un grand confort visuels. Le chapitre 4.5 de la norme propose aussi des valeurs indicatives pour maintenir à un faible niveau les effets incommodes que les installations d'éclairage extérieures exercent sur leur environnement nocturne (voir annexe A3.4.2 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 de la route, 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 d'autres facteurs que l'obscurité 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 m 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 « plus on éclaire, mieux c'est », qui mène souvent à des résultats opposés au but visé. Ainsi, lors d'un trajet hors des localités, 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.

Commentaire : 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 et le 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. En parallèle, les conséquences d'un accident

⁹ www.wegleitung.ekas.ch, section 1333.2 Éclairage du milieu de travail (consulté le 6 septembre 2016)

sont souvent plus graves pour eux que pour les autres usagers, parce que 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 « plus on éclaire, mieux c'est » 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 un contraste 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 d'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 incommode 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).

La norme SN 640 241 « 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) exige que les passages piétons et leurs zones d'approche – et dans les zones urbaines, également les passerelles pour piétons sans marquage – soient éclairés la nuit de manière que les personnes qui les empruntent soient reconnaissables. Pour savoir exactement comment aménager l'éclairage, la norme renvoie à la directive 202 de la SLG (pour plus d'informations, voir aussi annexe A5.1 de la présente aide à l'exécution).

Les mesures concrètes permettant de limiter les émissions lumineuses de l'éclairage routier sont présentées en particulier dans le chapitre suivant :

→ A5.1 Infrastructure routière (éclairages des routes)

A2.3.3 Sécurité du point de vue de la criminalité

Jusqu'au XVII^e siècle, avant que l'éclairage public ne 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 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 que les attaques à main armée, les vols à l'arraché, les lésions corporelles ou les cambriolages (Fussverkehr Schweiz 2015).

Il n'y a encore aucune étude établissant 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 – en fonction de la valeur de ses habits, de son âge ou de 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, puisque la plupart des personnes, occupées par leur travail ou d'autres activités, n'y sont pas à ce moment-là (PSC 2014).

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 annexe A5.9.7).

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, le risque augmente aussi pour d'autres délits tels que le vandalisme ou les vols par effraction là où de grandes différences de clarté créent des possibilités de fuite pour les délinquants potentiels, qui peuvent par exemple emprunter une rue latérale sombre.

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 important¹⁰ (voir également annexe A2.4).

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 annexe A1.2.2) ou perturber le rythme circadien d'organismes vivants (voir annexe A1.1.5). 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

¹⁰ Le rendu des couleurs varie cependant aussi pour une seule et même technologie d'éclairage (LED, p. ex.). À des fins de classification, on utilise l'indice de rendu de couleur R_a .

aussi possible de dégager des *synergies* entre les aspects de sécurité et les questions de protection de la nature.

Des informations sur la manière de prendre des mesures pour limiter les émissions de lumière lors de l'utilisation de l'éclairage pour la protection contre la criminalité se trouvent notamment dans le chapitre suivant :

→ A5.9.5 Utilisation mesurée de la lumière pour empêcher les cambriolages

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 se sentent également 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).

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 »¹¹. 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 est régulier* (sans zones obscures et 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

¹¹ 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.

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 annexe A5.6).

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).

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 vieille ville. 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 des vitrines, publicités lumineuses et enseignes sur toiture (Ville de Lucerne 2008 ; voir aussi annexe A5.8.1).

A2.4 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'être humain 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 14). 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 point 3.3.5). Lorsque les lampes sont installées en hauteur (à partir de 20 m environ ; dépend de la distance entre les projecteurs et le sol du stade), il est préférable de les placer de façon symétrique, car ils éclairent mieux la surface devant l'être.

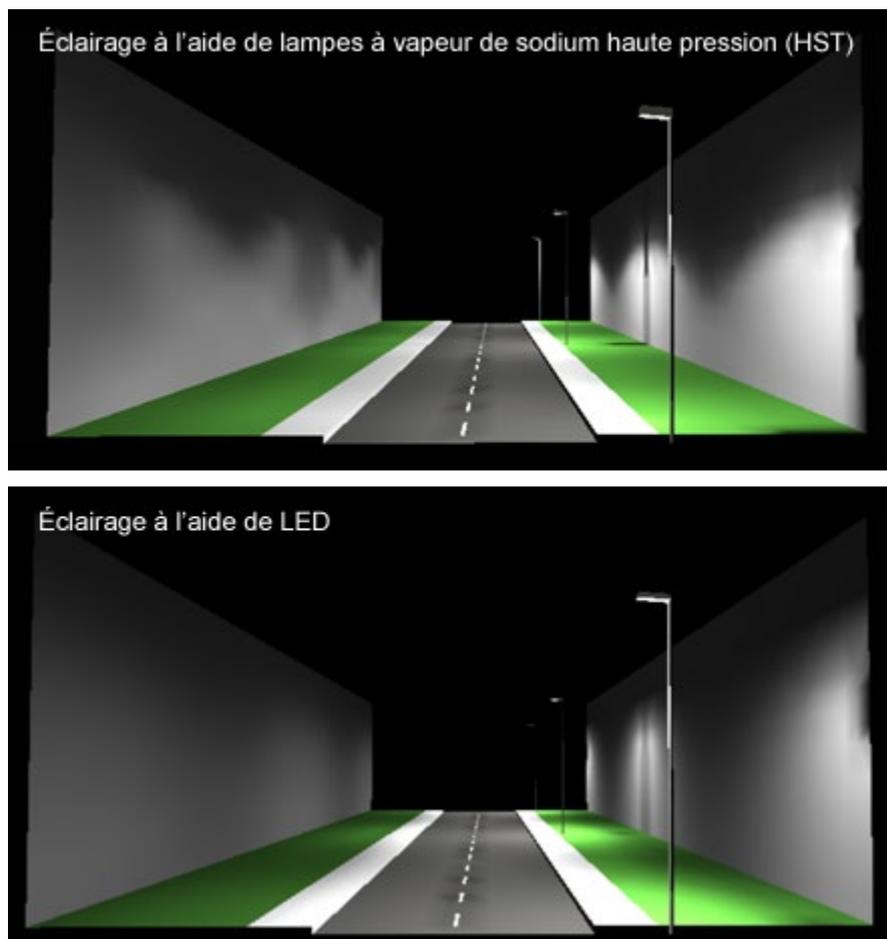


Figure 14 : Exemple de calcul pour une rue éclairée avec des lampes à vapeur de sodium haute pression (HST, 100 watts [W], en haut) ou avec des LED (78 W, en bas). L'éclairage horizontal moyen sur la chaussée avoisine dans les deux cas 15 lux (HST : 14,5 lux ; LED : 15,4 lux), mais l'éclairage aux LED émet moins de lumière vers les façades environnantes. L'éclairage 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 au point 5.3 pour l'évaluation de l'éblouissement inconfortable 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 des 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 un flux constant de*

lumière sur toute la durée de vie de la lampe¹². Il n'est donc plus nécessaire de surdimensionner les éclairages publics, comme on le faisait avec des technologies plus anciennes afin de garantir que la rue soit encore éclairée conformément à la norme à la fin de la durée de vie des lampes (SLG 2016).

Si on utilise précisément la quantité de lumière nécessaire pour l'éclairage, par exemple grâce à la gradation progressive et à la technologie CLO, on réduit non seulement les émissions lumineuses, mais aussi l'énergie consommée. Par rapport à d'autres lampes, les diodes électroluminescentes présentent déjà une *bonne efficacité énergétique*. 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 autolumineuses, 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 ultra-violettes 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 15).

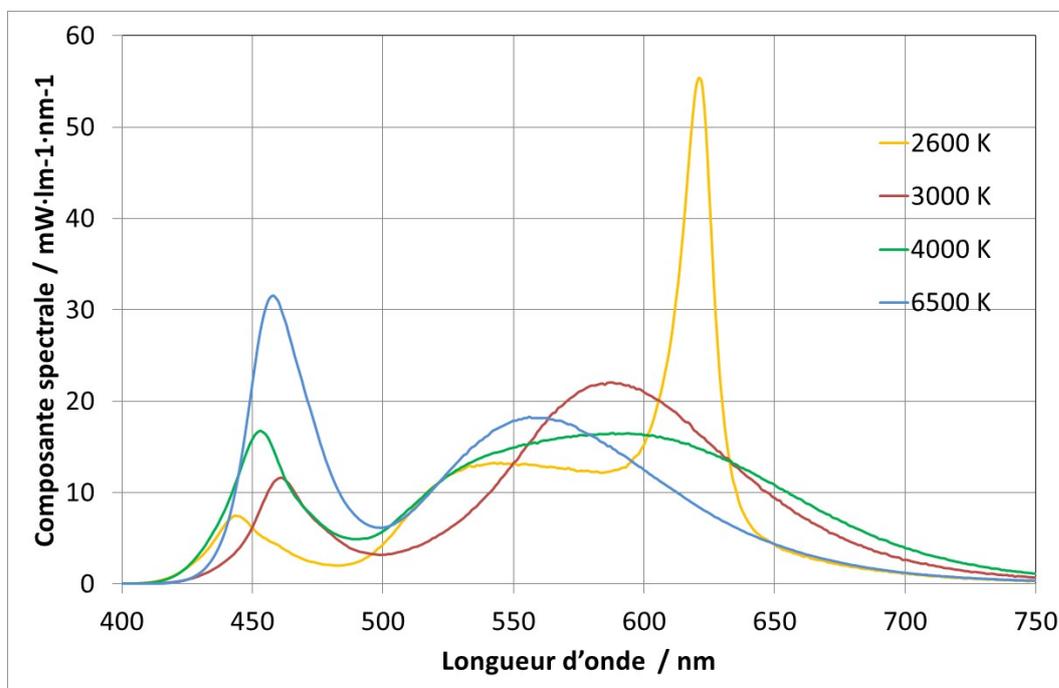


Figure 15 : Spectres lumineux de LED blanches typiques présentant différentes températures de couleur ; ces diodes produisent une lumière blanche en convertissant la lumière bleue à l'aide de phosphore. Alors que le spectre des LED à lumière blanc froid (6500 kelvins [K]) se distingue par un pic dans le domaine de longueur d'onde du bleu (à environ 460 nm), la composante bleue est déjà nettement moins importante pour les LED blanc neutre (4000 K). Quant au spectre des LED blanc chaud, il peut encore contenir une composante bleue (3000 K, p. ex.). La composante bleue est la plus faible pour les 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).

¹² Ce résultat peut être atteint à l'aide de la technologie CLO (Constant Light Output). Les LED les plus récentes présentent des signes d'usure si infimes (facteur de maintenance très élevé) que leur flux lumineux reste constant pendant toute leur durée de vie même sans la technologie CLO. Ces LED, qui satisfont aux exigences techniques L90/B10, émettent encore 90 % de leur flux lumineux initial lorsqu'elles atteignent la durée de vie indiquée ; seuls 10 % des modules se situent en dessous de cette valeur. Un nettoyage régulier (maintenance) des lampes et des capteurs garantit une efficacité énergétique durable et un bon fonctionnement.

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 éclairage lumineux identique, la lumière blanc froid ou blanc neutre paraît plus claire que la lumière blanc chaud.

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 (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).

Sur le 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 fabricants). Il en résulte un certain conflit d'objectifs 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 annexe A1.2.2) ou peut influencer le rythme circadien des organismes vivants (voir annexe A1.1.5).

Enfin, il faut aussi tenir compte de *l'élimination et de la valorisation 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.

Des indications concernant la manière de peser les intérêts eu égard au conflit d'objectif entre la température de couleur et l'efficacité énergétique figurent en particulier au chapitre suivant :

→ 3.3.3 Spectre lumineux / couleur de la lumière

A2.5 Efficacité énergétique grâce à une gestion intelligente de l'éclairage public

Lorsqu'on réduit les émissions lumineuses superflues en n'éclairant que ce qui doit l'être, on diminue 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 (LEne ; 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 plus efficacement à l'aide de détecteurs de mouvement (voir figure 16).

L'avantage essentiel de la technologie LED pour l'éclairage public, par rapport aux autres types de lampes, ne réside pas principalement dans son efficacité énergétique fondamentalement meilleure – un réverbère LED ne consomme actuellement que 50 % d'électricité en moins qu'une lampe à vapeur de sodium pour la même tâche d'éclairage (voir figure 16). Le grand avantage de cette technologie vient du 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. Il est ainsi 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 annexe A5.1).

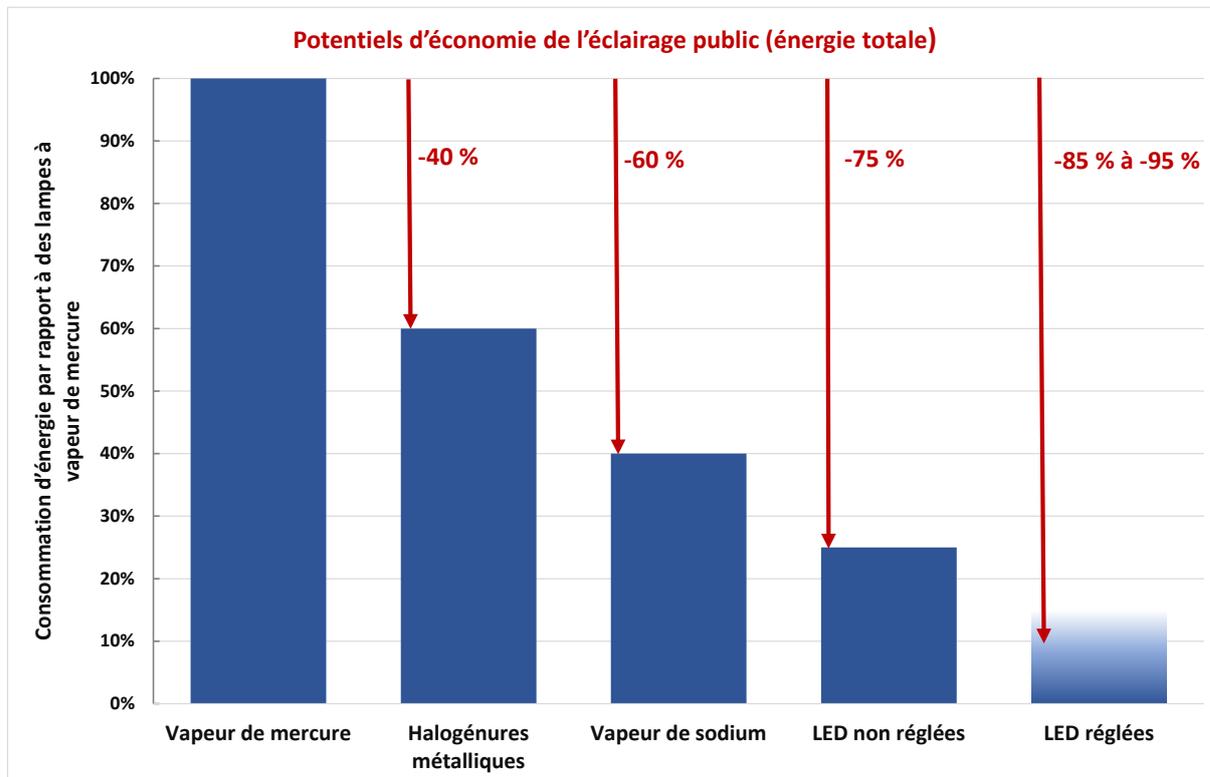


Figure 16 : Consommation d'énergie et potentiel d'économie correspondant de diverses lampes utilisées pour l'éclairage public, par rapport aux anciennes lampes à vapeur de mercure. La consommation électrique fait référence à l'énergie totale (en W) dont les lampes ont besoin pour produire un même éclairement de la route. Les économies potentielles représentées ici sont des ordres de grandeur typiques ; selon les cas, les valeurs au sein d'une technologie peuvent s'écarter de 10 à 15 %. Avec des LED réglées, le potentiel d'économie dépend de la gestion effective (source : Haller/EKZ 2017). Les économies d'énergie d'au moins 50 % supplémentaires grâce à des LED réglées intelligemment en comparaison de LED non réglées se confirme dans la pratique sur les routes cantonales où le trafic journalier moyen est relativement élevé (Breuer 2016).

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, soit 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 être remplacés dans les années à venir. 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 des routes cantonales peu fréquentées voire pas du tout utilisées, dans l'idée de profiter du fait que l'intensité des lampes LED peut être réglée rapidement et avec beaucoup de flexibilité. L'éclairage peut donc être géré en fonction des « contacts clients » ; lorsqu'aucune personne 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. Lorsqu'une voiture, un vélo ou un piéton s'approche et se fait repérer par des détecteurs de mouvement, l'intensité du premier réverbère ainsi que des deux ou trois lampes suivantes augmente jusqu'au niveau préconisé par la norme. Ainsi, un tapis de lumière précède les usagers de la zone. Lorsque ces derniers quittent le secteur de détection d'un réverbère, l'intensité de celui-ci retourne au faible niveau 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 démontré 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 gestion intelligente de notre exemple 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).

Au vu de ces résultats, l'éclairage des routes « à la demande » a dépassé depuis longtemps la phase pilote pour devenir la norme dans le canton de Berne. L'Office des ponts et chaussées exploite actuellement plus de 12 000 lampadaires gérés intelligemment le long des routes cantonales, ce qui en fait la plus grande installation de ce type en Europe. Les valeurs mesurées dans l'exploitation pratique de cette immense installation d'« éclairage à la demande » confirment les attentes : 80 % d'économies pour les coûts de l'énergie, environ 50 % de réduction des émissions lumineuses et des frais d'exploitation réduits de 90 %. Grâce à l'appel d'offres public portant sur de grandes quantités, il n'y a même pas de coûts additionnels liés à l'achat de LED intelligentes à la place des LED conventionnelles.

A3 Cadre légal

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

L'annexe A3.2 contient 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 6 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.

A3.1 Généralités

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

À côté des bases légales adoptées par la Confédération (voir A3.2), il existe également au niveau cantonal et communal des instruments juridiques réglementant la limitation des émissions lumineuses (voir annexe A3.3). Enfin, certaines normes de droit privé et recommandations étrangères ont aussi pour but de limiter les effets négatifs de l'éclairage artificiel (voir annexe A3.4).

A3.2 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 :

- Constitution fédérale (*Cst.* ; *RS 101*), avec l'art. 74 ainsi que l'art. 78 ;
- 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 ;
- loi fédérale sur la protection de la nature et du paysage (*LPN* ; *RS 451*), avec les art. 1 à 3, 5, 6, 18, 18a et 18b, l'art. 20, al. 1, ainsi que les art. 23b à 23d ;
- 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 ;
- loi fédérale sur la pêche (*LFSP* ; *RS 923.0*), avec l'art 5 ;
- 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 ;
- loi sur l'énergie (*LEne* ; *RS 730.0*), avec l'art. 1 ainsi que l'art. 3 ;
- code civil (*CC* ; *RS 210*), avec les art. 679 et 684.

Le tableau 12 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 12 : Principales dispositions fédérales concernant la limitation des émissions lumineuses

Protection de l'être humain et de l'environnement : ces dispositions s'appliquent de manière générale à toutes les installations d'éclairage		
Installations / objets à protéger	Exigences légales	Compétences
<ul style="list-style-type: none"> — 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). 	<ul style="list-style-type: none"> — Limitation préventive des émissions (premier 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. 3 et annexe A5 — Limitation plus sévère des émissions (second 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'être humain → chap. 4 — Explications juridiques complètes : voir annexe A3.2.1 	<p>Autorités compétentes (chargées de l'octroi des autorisations) pour les installations correspondantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> — les communes ; — les cantons ; — la Confédération. <p>Les exigences s'appliquent aussi bien aux installations qui sont soumises à autorisation qu'à celles qui ne le sont pas :</p> <ul style="list-style-type: none"> — pour les installations soumises à autorisation : → point 7.3 ; — pour les installations non soumises à autorisation : → point 7.4

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
<ul style="list-style-type: none"> — Installations : « atteintes d'ordre technique » (telles qu'émissions lumineuses) dans des biotopes dignes de protection — Objets à protéger : espèces animales et végétales 	<ul style="list-style-type: none"> — 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 meilleure protection possible, la reconstitution ou, à défaut, le remplacement adéquat (art. 18, al. 1^{er}, LPN). — Explications juridiques complètes : voir annexe A3.2.2 	<p>Autorités compétentes (chargées de l'octroi des autorisations) pour les « atteintes d'ordre technique » :</p> <ul style="list-style-type: none"> — les communes ; — les cantons ; — la Confédération. <p>Les exigences s'appliquent aussi bien aux installations qui sont soumises à autorisation qu'à celles qui ne le sont pas :</p> <ul style="list-style-type: none"> — pour les installations soumises à autorisation : → point 7.3 ; — pour les installations non soumises à autorisation : → point 7.4

Protection du paysage : dispositions supplémentaires applicables lors de l'accomplissement de tâches de la Confédération		
Installations / objets à protéger	Exigences légales	Compétences
<ul style="list-style-type: none"> — 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). 	<ul style="list-style-type: none"> — 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 annexe A3.2.3 	<ul style="list-style-type: none"> — la Confédération (ses instituts et ses établissements) ; — les cantons.

A3.2.1 Protection de l'être humain et 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 incommodes (art. 1, al. 1, LPE). Les atteintes qui pourraient devenir nuisibles ou incommodes 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'installations¹³ constituent aussi des atteintes au sens de la LPE. La lumière produite artificiellement la nuit, ainsi que la lumière du soleil modifiée (notamment réfléchiée) par la construction ou l'exploitation d'installations, entrent ainsi dans le champ d'application de la 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 incommodes (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 incommodes (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).

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).

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. L'annexe A3.4 décrit certaines de ces normes de droit privé et recommandations étrangères, alors que le chapitre 5 montre comment déterminer dans des cas concrets, grâce à des valeurs indicatives, si des immissions lumineuses sont excessives pour l'être humain.

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 annexe A5.9.2), l'autre l'éclairage d'une gare (*ATF 140 II 214*, voir annexe A5.7). Dans les deux cas, le tribunal a estimé que les immissions concrètes n'étaient pas excessives pour l'être humain 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).

A3.2.2 Protection de la biodiversité (LPN, LChP, 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 la délimitation de zones tampons 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. 1^{bis}, LPN).

Pour les *interventions d'ordre technique* dans les 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. 1^{er}, 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.

A3.2.3 Protection du paysage (loi sur la protection de la nature et du paysage)

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. 23b à 23d 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 annexe A5.10).

Le 27 mai 2020, le Conseil fédéral a adopté la version actualisée de la Conception « Paysage suisse » (CPS 2020). Ce document est l'instrument de planification de la Confédération pour sa politique du paysage. L'objectif consiste notamment à concevoir les projets et les planifications de manière à ce que les paysages sous pression restent à disposition à titre d'espaces de logement, de travail et de détente de haute qualité. La CPS actualisée arrête dans son objectif 3.B « Promotion de la santé dans les espaces urbains et de détente de proximité » que les émissions lumineuses gênantes doivent être réduites. Un facteur déterminant est en l'occurrence l'éclairage des infrastructures de communication, qui contribue dans une grande mesure à la pollution lumineuse à l'intérieur et à l'extérieur des localités. L'objectif 10.C vise par conséquent à optimiser également les éclairages des infrastructures de transport.

A3.2.4 Aménagement du territoire et procédure d'autorisation de construire (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 incommodes, 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 annexe A5.10), déjà mentionné à l'annexe A3.2.2.

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 permettent 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.

A3.2.5 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). Si 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 au sens susmentionné 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 en justice dans ce domaine. La présente aide à l'exécution se limite au champ d'application du droit public de l'environnement.

A3.3 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 », p. ex.).

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 leurs *plans directeurs*.

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 annexe A3.2.4). 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, quelques *lois et réglementations communales sur la police* contiennent des dispositions visant la réduction des émissions lumineuses. Elles portent sur la manière de traiter les atteintes aiguës, tandis que les principes généraux pour éviter les atteintes nuisibles et incommodes sont réglementés exhaustivement dans la LPE et ses dispositions d'exécution.

A3.4 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 13 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 différentes normes ne contiennent aucun critère permettant de décider si une rue ou une installation, par exemple, doit être éclairée. Une fois que la décision d'éclairer est prise, elles fournissent en revanche 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 13 : Vue d'ensemble des compétences de normalisation dans le domaine de la lumière et de l'éclairage

	Normes concernant des produits (p. 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

A3.4.1 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'être humain et l'environnement. Elle propose notamment des valeurs indicatives applicables à certains paramètres de l'éclairage pour limiter l'illumination indésirable des locaux d'habitation et l'éblouissement incommode. Elle définit aussi des valeurs indicatives pour réduire l'illumination du ciel. 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.

L'éclairement vertical exprimé en lux est utilisé comme variable mesurée pour déterminer l'illumination indésirable des locaux d'habitation. On évalue les immissions totales provenant de toutes les installations d'éclairage des environs qui illuminent le local étudié (voir tableau 14).

¹⁴ Par « curfew » (= « couvre-feu »), on entend une « période de repos » 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.

Tableau 12 : Valeurs standards pour évaluer l'illumination indésirable des locaux d'habitation selon la norme CIE (extrait des tableaux 1 et 2 de la norme CIE 150 2017)

Zone environnante	Éclairage vertical maximal E_v en lux	
	Pre-curfew (avant l'heure de validité)	Post-curfew (après l'heure de validité)
E0 Intrinsically dark – UNESCO Starlight Reserves, IDA Dark Sky Parks, Major optical observatories	n/a*	n/a*
E1 Dark – Relatively uninhabited rural areas	2	<0.1**
E2 Low district brightness – Sparsely inhabited rural areas	5	1
E3 Medium district brightness – Well inhabited rural and urban settlements	10	2
E4 High district brightness – Town and city centres and other commercial areas	25	5

*n/a: non applicable

**Dans le cas de l'éclairage public (des routes), une valeur jusqu'à 1 lux est admise.

Pour apprécier l'effet incommode, on se réfère à l'intensité des sources lumineuses exprimée en candelas. L'intensité lumineuse maximale ne devant pas être dépassée varie selon la surface de la lampe et la distance par rapport au lieu d'immissions (voir tableau 3 de la norme CIE 150 2017). L'annexe C de la norme CIE 150 2017 décrit une méthode (voir tableau 16) pour contrôler des installations existantes ; elle repose sur l'évaluation de l'éblouissement appliquée en Allemagne (voir annexe A3.4.3).

Tableau 13 : Facteur de proportionnalité k servant à déterminer la luminance maximale admissible de sources lumineuses techniques pendant les heures d'obscurité, sur la base des zones environnantes E0 à E4 (selon le tableau C.1 de la norme CIE 150 2017).

Zone environnante	Facteur de proportionnalité k	
	Pre-curfew (avant l'heure de validité)	Post-curfew (après l'heure de validité)
E0 Intrinsically dark – UNESCO Starlight Reserves, IDA Dark Sky Parks, Major optical observatories	0	0
E1 Dark – Relatively uninhabited rural areas	32	0
E2 Low district brightness – Sparsely inhabited rural areas	64	32
E3 Medium district brightness – Well inhabited rural and urban settlements	96	32
E4 High district brightness – Town and city centres and other commercial areas	160	32

A3.4.2 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 586 491) 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, avec pour objectif de les sensibiliser à la thématique des émissions lumineuses. La norme est conçue comme une ligne directrice portant sur l'ensemble du processus de planification, de mise en place, d'exploitation et de 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'éclairage, 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 6.10 « Lumière indésirable », la norme SN EN 12193: contient aussi des valeurs indicatives pour la limitation de l'effet incommode exercé sur les personnes et sur le voisinage. La norme s'appuie sur les exigences formulées dans la norme CIE 150. Ce ne sont toutefois pas les immissions globales qui sont considérées, mais celles qui sont causées par une seule installation. La valeur utilisée pour évaluer l'illumination des locaux d'habitation est l'éclairage vertical en lux. Pour limiter l'éblouissement incommode, on se réfère à la luminance de la source de lumière 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 (voir tableau 16).

L'Association suisse pour l'éclairage (SLG) a publié plusieurs directives avec des compléments concernant l'éclairage des installations 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.

Tableau 14 : Normes standards servant à évaluer l'illumination indésirable des locaux d'habitation et à limiter l'intensité lumineuse selon la norme SN EN 12193 « Éclairage des installations sportives » (extrait du tableau 2 de la norme SN EN 12193:2019)

Zone environnante	Éclairage vertical moyen E _{vert Ave} en lux		Intensité lumineuse de la lampe en candelas (cd)	
	Avant heure de valid.	Après heure de valid.	Avant heure de valid.	Après heure de valid.
E1 Zones sombres, p. ex. parcs nationaux ou sites protégés	2	0	2500	0
E2 Zones à faible luminosité, p. ex. zones industrielles ou zones résidentielles en milieu rural	5	1	7500	500
E3 Zones à luminosité moyenne, p. ex. zones industrielles ou zones résidentielles en banlieue	10	2	10 000	1000
E4 Zones à forte luminosité, p. ex. centres-villes ou centres commerciaux	25	5	25 000	2500

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 les chantiers, les stations-service, les installations industrielles ou les quais ferroviaires – pour obtenir de bonnes performances et un grand confort visuels. Le point 4.5 de la norme SN EN 12464-2 propose aussi des valeurs indicatives pour maintenir à un faible niveau les effets incommodants que les installations d'éclairage extérieures exercent sur les alentours. La norme s'appuie sur les exigences de la norme CIE 150. Ce ne sont toutefois pas les immissions totales qui sont prises en considération, mais celles produites par une installation donnée. L'éclairage vertical exprimé en lux constitue la valeur mesurée pour évaluer l'illumination indésirable des locaux (voir tableau 17). 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 l'heure de validité), mais aucune heure spécifique n'est mentionnée.

Tableau 15 : Normes standards servant à évaluer l'illumination des locaux d'habitation selon la norme SN EN 12464-2 « Éclairage des lieux de travail – Partie 2 : Lieux de travail extérieurs » (extrait du tableau 2 de la norme SN EN 12464-2:2014)

Zone environnante	Éclairage vertical moyen E_v en lux	
	Avant l'heure de valid.	Après l'heure de valid.
E1 Zones sombres, p. ex. parcs nationaux ou sites protégés	2	0
E2 Zones à faible luminosité, p. ex. zones industrielles ou zones résidentielles en milieu rural	5	1
E3 Zones à luminosité moyenne, p. ex. zones industrielles ou zones résidentielles en banlieue	10	2
E4 Zones à forte luminosité, p. ex. centres-villes ou centres commerciaux	25	5

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 incommode 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 de l'énergie, mais également à diminuer les émissions lumineuses (voir annexe A5.1). Dans une directive, la SLG a publié des compléments à la norme sur l'éclairage public (SLG 202).

A3.4.3 Normes, réglementations et recommandations étrangères

Allemagne : 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)

Les émissions et immissions lumineuses entrent dans le champ d'application de la *Bundes-Immissionsschutzgesetz* (BImSchG), une loi fédérale allemande équivalant à la loi suisse sur la protection de l'environnement. Dans un pays comme dans l'autre, le législateur n'a pas encore adopté de réglementation concrète pour les immissions de lumière artificielle. Afin de pouvoir procéder à une évaluation uniforme des immissions lumineuses en matière de nocivité au sens de la BImSchG, la LAI (un groupe 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 à nouveau été adaptées en 2012. L'éclairage des rues n'est pas inclus dans ces recommandations (LAI 2012).

Pour l'illumination indésirable des locaux d'habitation, les indications de la LAI font référence aux mêmes valeurs d'appréciation que la CIE (éclairage 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 18).

En ce qui concerne l'éblouissement incommode, 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'évaluation de l'illumination indésirable des locaux et à l'éblouissement incommode 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 le guidage du flux de lumière, le 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*.

Tableau 16 : Valeurs indicatives d'immissions servant à évaluer l'illumination indésirable de locaux d'habitation selon la LAI (extrait du tableau 1 de LAI 2012)

Lieu d'immissions (où a lieu l'effet)	Éclairage vertical moyen E_v en lux	
	6 h à 22 h	22 h à 6 h
Type de zone selon la Baunutzungsverordnung (BauNVO) allemande		
1 Zones de cure, hôpitaux, établissements de soin*	1	1
2 zones purement résidentielles zones d'habitation générales zones d'habitation spéciales zones de petites localités zones de détente	3	1
3 zones villageoises zones mixtes	5	1
4 zones centrales** zones artisanales zones industrielles	15	5

* Si l'installation d'éclairage est régulièrement allumée pendant moins d'une heure par jour, les valeurs de la 2^e ligne s'appliquent également aux zones mentionnées à la 1^{re} ligne.

** Si la luminosité ambiante d'une zone centrale est faible, elle peut, à titre exceptionnel, être classée dans la 3^e ligne.

France : Arrêté du 27 décembre 2018 relatif à la prévention, à la réduction et à la limitation des nuisances lumineuses

L'« arrêté du 27 décembre 2018 relatif à la prévention, à la réduction et à la limitation des nuisances lumineuses » s'appuie sur le Code de l'environnement français, selon lequel les émissions lumineuses incommodes doivent être évitées. L'arrêté français contient des prescriptions techniques sur la conception et l'exploitation d'installations lumineuses extérieures ainsi que d'éclairages intérieurs dont la lumière parvient à l'extérieur.

Le texte législatif français distingue, à l'instar de la norme CIE 150 par exemple, différentes zones environnantes où, en fonction de la sensibilité, les installations doivent satisfaire à des exigences plus ou moins sévères concernant la durée de l'éclairage, son intensité et la température de sa couleur. Il arrête que d'une manière générale le flux lumineux ne doit pas dépasser l'horizontale. En outre, la température de couleur d'un éclairage public (éclairages de chantier compris) ne doit pas excéder 3000 K. Dans les parcs naturels régionaux, cette température ne doit pas dépasser 2400 K en agglomération et 2000 K hors agglomération.

Autriche : 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 indicatives pour les effets sur l'être humain et l'environnement de la lumière émise par des sources artificielles de différents types, ainsi que par des façades ou enseignes lumineuses. 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 variable 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 incommode 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 d'habitation par l'éclairage public, ainsi que pour restreindre l'illumination indésirable de la nature et de l'environnement.

A4 Plans d'éclairage et concepts de grande envergure

A4.1 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 exiger une protection contraignante 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, p. ex.), 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 (p. ex. dans la ville de Lausanne (Henninger 2015)) 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 artificielle.

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 des plans d'éclairage ou sont en train de le faire (Carouge, Thalwil, centre de Schwyz, Rheinfelden ou Zofingue, p. ex.).

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 Plans d'éclairage

A4.2.1 Recommandation pour la création d'un concept d'éclairage

Une approche consciente de l'éclairage et de l'obscurité dans une région ou dans une commune induit idéalement une utilisation plus 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, p. ex.), il est recommandé d'élaborer un plan, un concept ou une stratégie (générale) d'éclairage.
- La portée d'un tel concept peut varier en fonction de la taille de la région à laquelle il est destiné, mais il devrait au moins contenir des principes généraux d'éclairage.

A4.2.2 Marche à suivre pour la création d'un concept 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 sur le 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 p. 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 les diverses zones et les fonctions qui leur sont associées dans le périmètre du projet (p. ex. zone centrale, zones résidentielles, zones industrielles, espaces verts, écoles, installations de sport et de loisirs, habitations pour personnes âgées, etc.).
- Axes de communication, rues, chemins ou places existants.
- Milieux naturels existants et populations d'espèces animales sensibles à la lumière (p. 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 des 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, p. ex.) ?
 - 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 (p. 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) ? Quels espaces doivent être utilisés ou protégés la nuit, et comment ? 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 17).
- Élaboration de concepts 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, p. ex.).
 - De la lumière pour regarder : lumière de mise en valeur (p. 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, p. ex.).
- 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, p. ex.). 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.

Exemple pratique : définition d'objectifs liés à certains espaces dans le plan général d'éclairage de la commune de Thalwil



Figure 17 : Exemple de représentation graphique montrant quels aménagements lumineux sont prévus dans quelles zones de la commune (source : Commune de Thalwil 2015).

A4.2.3 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 concept 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.

Principaux services ou acteurs à intégrer (exemples) :

- responsables politiques (p. ex. conseil communal ou municipal) ;

- autorités chargées des constructions (p. 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 (p. 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 annexe A4.2.5). 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 :

- Séances 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 l'annexe A5.1.4).
- 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.

A4.2.4 Problématiques abordées dans la perspective d'une limitation des émissions

Les indications et questions ci-dessous peuvent également aider à limiter 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 que l'éclairage des vitrines, l'éclairage des maisons privées, les 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] 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 ?



[3] 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 quelle zone. 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'être humain et l'environnement (voir point 3.3.3).



[4] 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 des technologies spécifiques (p. ex., on peut n'admettre que les systèmes de projection pour l'illumination des façades ou des éclairages ciblés, voir annexe A5.7).
- 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 ?



[6] 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 gérer dans le temps l'éclairage des diverses sources lumineuses ?

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 minuit : activités nocturnes (restaurant, cinéma, etc.) ;
 - de minuit 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 l'impact de l'éclairage sur l'environnement, 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'éclairage 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 écrans protecteurs nécessaires n'est pas autorisé. Afin d'éviter que des insectes s'y introduisent, les lampes utilisées doivent être hermétiques.
- 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)

A4.2.5 Intégration des aspects liés à la sécurité dans les concepts 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 annexe 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.
- *Utiliser la lumière de manière appropriée :*
Pour accroître la sécurité, il ne faut pas plus de 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. L'annexe A4.2.2 fournit des indications sur la manière d'intégrer la population à ces réflexions.
- *Créer 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.
- *Prévoir des éclairages différents pour des fonctions spatiales différentes :*
À l'intérieur d'un espace, il peut exister des sous-secteurs assumant des fonctions différentes (p. ex. 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 de certains endroits.
- *Utiliser une lumière particulière 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 18).

A4.2.6 Prise en compte des besoins d'éclairage spécifiques aux personnes âgées

Avec l'âge, la capacité visuelle diminue et le danger d'éblouissement augmente en raison du développement d'opacités 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 (p. ex. pour les différences de niveau, les traversées de rue, etc.) peuvent aider les personnes âgées à mieux s'orienter (voir figure 18).
- 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.

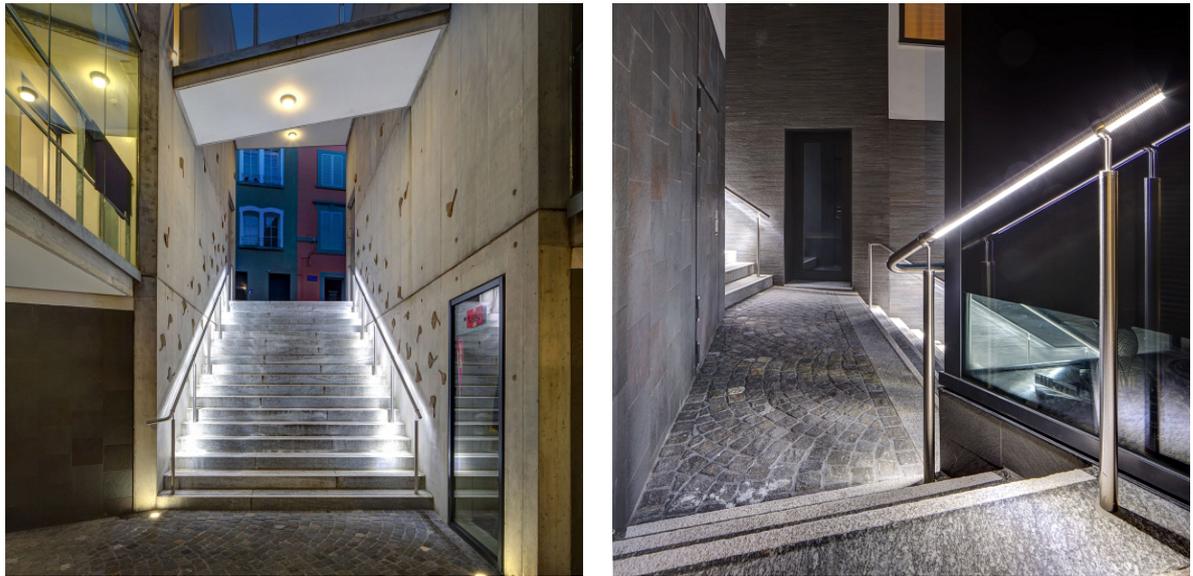


Figure 18 : Dans le quartier du Rôtillon à Lausanne, les escaliers sont éclairés en sus par des LED dissimulées dans la main courante. Les différentes marches sont munies d'une bande blanche antidérapante qui accroît le contraste visuel (source : Ville de Lausanne¹⁵).

¹⁵ <https://www.lausanne.ch/ressources/diapos/urbanisme/eclairage-public/rotillon/index.html> ; photo : Elisabeth Frandsdonk - EMO-PHOTO

A5 Mesures spécifiques à diverses situations et installations d'éclairage

A5.1 Infrastructures de transport routier (éclairage public)

A5.1.1 Généralités

Avec l'accroissement du taux de motorisation des usagers de la route, l'éclairage routier, 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 annexe A2.3.2).

Toutefois, comme il forme de longues structures continues à une distance souvent faible des maisons voisines, l'éclairage public constitue aussi l'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 la plus proche et la façade est plus grande, l'intensité des immissions est aussi significativement plus faible et peut même être nettement inférieure à 1 lux (SLG 2016, Rechsteiner & Anderle 2015).

En 2018, de nouvelles exigences d'efficacité pour les lampes ont été définies dans l'*ordonnance sur les exigences relatives à l'efficacité énergétique*¹⁶ (OEEE, RS 730.02). Les équipements inefficaces tels que les lampes à vapeur de mercure ne peuvent par conséquent plus être vendus et 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 sur le 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 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 sodium (voir annexe 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 annexe 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, p. ex.) qui décide si une route donnée doit être éclairée ou non.



[1]¹⁷ 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 annexe A5.1.3) :

- Où l'éclairage est-il nécessaire ?
- Où peut-on renoncer à l'éclairage ?
- Envisager le démontage d'installations existantes.

¹⁶ L'OEEE définit des exigences pour l'efficacité énergétique des lampes fluorescentes, des lampes à décharge à haute intensité, des ballasts et des luminaires (appendices 1.11 et 2.11), ainsi que des lampes électriques dirigées, des lampes LED et des équipements correspondants, alimentés par le secteur (appendice 2.15).

¹⁷ Cette numérotation se réfère au plan en 7 points destiné à limiter les émissions lumineuses et représenté à la figure 2 du chapitre 3.

Il n'existe aucune directive arrêtant d'une manière générale sur quels tronçons et à quels moments un éclairage routier est nécessaire ; il s'agit d'un sujet local et politique, qui doit être traité au cas par cas, en fonction de la situation. Tout dépend des circonstances spécifiques, des alentours et de l'interaction entre différents éléments (p. ex. composition du trafic ou lumière ambiante). Il faut en outre faire une distinction entre les tronçons se trouvant en territoire bâti et ceux qui se trouvent en dehors.

D'une manière générale, l'éclairage public doit augmenter la sécurité routière, en améliorant les conditions de visibilité pour tous les usagers de la route et le guidage optique sur le tracé. L'accent est mis sur les routes où trafic motorisé et trafic lent se rencontrent souvent, à savoir à l'intérieur des localités. L'éclairage doit accroître la probabilité que les conducteurs de véhicules voient suffisamment tôt les obstacles et les personnes. À l'intérieur des localités, des critères additionnels peuvent s'ajouter, tels que l'intention de conférer un sentiment de sécurité subjectif pour les piétons ainsi que les riverains, l'amélioration de la perception spatiale de l'espace routier ou l'attrait des zones urbaines (SLG 2018).

La décision sur la nécessité d'installer un éclairage ou non doit par conséquent être prise en fonction de la situation, par exemple dans le cadre d'un processus de planification, en consultant les services spécialisés et les groupes d'intérêts pertinents (voir annexe A5.1.3).

Exemple pratique pour [1] : 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'installation routière est complexe et donc plus l'utilisateur doit fournir d'efforts pour capter les autres usagers et maîtriser la 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 ?*
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, telles que des bifurcations, des carrefours ou des giratoires. Il faut prendre en compte tout spécialement les zones conflictuelles avec les cyclistes et les piétons.
- *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 (p. ex. parce que des vitrines ne sont plus illuminées), l'éclairage d'une route peut être réduit (voir [2] à l'annexe A5.1.4).
- *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 aux heures d'utilisation intense.

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 ou une 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.

Exemple pratique pour [1] : 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).

A5.1.2 Normes pour l'éclairage public

Lorsque l'autorité compétente a décidé qu'il fallait éclairer un tronçon de route, il est usuel en Suisse de s'en tenir à l'ensemble de normes SN EN 13201 « Éclairage public ». Révisé et complété en 2016, celui-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 affecter une route à une classe d'éclairage spécifique en s'appuyant sur divers paramètres (tels que la vitesse autorisée, la composition ou le 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. Dans son annexe A4, cette partie propose aussi des indications qualitatives sur la manière de réduire la lumière incommode pour les riverains et les alentours.
- *SN EN 13201-3 : Éclairage public – Partie 3 : Calcul des performances*
 La Partie 3 explique comment calculer les performances photométriques définies dans la Partie 2 à l'avance, 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 « Éclairage public – 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

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) exige que les passages piétons et leurs zones d'approche soient éclairées la nuit de manière à ce que les personnes les traversant soient visibles. Pour ce qui est de la conception précise de l'éclairage, elle renvoie à la directive 202 de la SLG. Cette dernière contient au point 2.3 des informations sur l'« éclairage des passages piétons ». Les passages avec ou sans marquage (p. ex. avec îlot, mais sans lignes) y sont traités de la même manière du point de vue de l'éclairage.

Selon la directive de la SLG, les routes fortement éclairées (luminance sur la chaussée de 1,5 candela par mètre carré [cd/m^2] ou éclairement horizontal de 20 lux) ne nécessitent généralement pas d'éclairage supplémentaire des passages piétons pour obtenir 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.

A5.1.3 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 donc d'entreprendre précocement une planification interdisciplinaire et 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. La portée d'un tel concept peut varier en fonction de la taille de la région à laquelle il est destiné, mais il devrait au moins contenir des principes généraux d'éclairage.

[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 la sécurité, l'aménagement, l'efficacité énergétique, la 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 (p. ex. conseil communal ou municipal) ;
- autorités chargées des constructions (p. ex. service des ponts et chaussées, service de l'aménagement, service des constructions, protection des monuments historiques, 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 (p. ex. police, service de l'urbanisme, préposé à la sécurité, 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 et de la nature, responsables du tourisme, 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 ou une spécialiste et de lui confier les calculs nécessaires. Dans chaque cas concret, cela permet de choisir les lampes les plus appropriées et de déterminer leur positionnement et leur orientation optimaux (voir annexe A5.1.4, point [5]).

Exemple pratique pour [A] : plan général d'éclairage de Thalwil

En 2015, la commune de Thalwil, dans le canton de Zurich, a élaboré un « Masterplan Licht » : elle y définit pour l'ensemble de son territoire dans quelles zones se déroulent les différentes activités et quels niveaux d'éclairage doivent donc y être prévus en conséquence. 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 pour [A] : réorientation conceptuelle de la stratégie d'éclairage des routes cantonales bernoises

En 2013, de nombreuses installations d'éclairage des routes cantonales bernoises ont atteint la fin de leur cycle de vie. Comme la moitié des quelque 27000 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 annexe A2.5). On souhaitait d'autre part éviter de surdimensionner les équipements, comme cela avait souvent été le cas par le passé (voir annexe 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 (Office des ponts et chaussées du canton de Berne 2015b, Breuer 2016) :

- 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 : la lumière à la demande.

A5.1.4 Mesures de limitation des émissions des éclairages publics

Les mesures ci-dessous peuvent contribuer à réduire les émissions des éclairages publics dans l'environnement. La numérotation des mesures se réfère au plan en 7 points de la figure 2 du chapitre 3.



[2] 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 annexes A2.4 et A2.5) :

- Comme les LED permettent de maintenir le flux lumineux constant sur une longue période¹⁸, 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 de l'énergie.



[3] Spectre lumineux / couleur de la lumière

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

Les lampes LED blanc chaud présentent une efficacité énergétique légèrement plus faible que les LED blanc froid ou blanc neutre¹⁹. En revanche, la composante bleue de leur spectre lumineux – dont les effets biologiques sont particulièrement marqués – est généralement moins importante. En effet, beaucoup d'animaux, en particulier de nombreux insectes, sont attirés par la lumière à courte longueur d'onde (UV et bleue). En outre, la plupart des personnes ressentent la lumière de couleur blanc chaud comme plus agréable que le blanc neutre ou froid (voir annexes A2.4 et A1.1.5).

- Du point de vue de la LPE et de la LPN, il faudrait donc autant que possible utiliser des LED blanc chaud.
- Il faut parfois procéder à une pesée des intérêts, entre d'une part les économies d'énergie et d'autre part la limitation de la part de lumière bleue.
- Il ne faudrait pas utiliser de LED blanc froid.
- Pour ce qui est de la couleur de la lumière ou du spectre lumineux, la norme SN EN 13201 ne prévoit aucune exigence.
- La norme SIA 491 (SN 586 491 ; voir annexe A3.4.2) recommande d'éviter autant que possible les parts de lumière bleue et les rayonnements UV et infra-rouges pour l'éclairage des infrastructures routières dans des zones sensibles du point de vue écologique.

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).

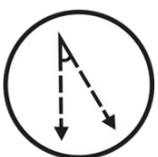
¹⁸ Cela peut se faire à l'aide de la technologie CLO (« constant light output »). Toutefois, les LED les plus récentes présentent désormais des signes d'usure si faibles (facteur de maintenance très élevé) que leur flux lumineux reste pratiquement constant sur toute leur durée de vie même sans technologie CLO. Ces LED, qui satisfont aux exigences techniques L90/B10, émettent encore 90 % de leur flux lumineux initial lorsqu'elles atteignent la durée de vie indiquée ; seuls 10 % des modules se situent en dessous de cette valeur. Un nettoyage régulier (maintenance) des lampes et des capteurs garantit une efficacité énergétique durable et un bon fonctionnement.

¹⁹ Sur le plan énergétique, les lampes 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 fabricants). Toutefois, quelle que soit la température de couleur, les LED présentent déjà une meilleure efficacité énergétique que les sources lumineuses classiques. Il est possible de l'augmenter encore de manière significative grâce à une gestion dynamique de la lumière, selon les besoins (voir annexe A2.5).



[4] 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 ou une spécialiste et de lui confier les calculs nécessaires. Dans chaque cas concret, cela permet de choisir 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 (éclairage vertical des immeubles d'habitation voisins).
- 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 tel que des insectes ou des araignées ne puisse y pénétrer²⁰.



[5] 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 annexe A5.6.2).
- Lors du montage, la tête de la lampe doit être orientée précisément afin de n'éclairer que ce qui doit l'être.



[6] 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 ?

[6a] 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 (p. ex. parce que des vitrines ne sont plus illuminées) (SLG 202).

²⁰ Cette exigence est remplie pour les lampes du standard IP65 ou supérieur.

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 est devenue la règle de nos jours pour les nouvelles installations. Le fait d'éteindre les réverbères est mieux accepté par la population lorsque des mesures d'accompagnement sont mises en œuvre.

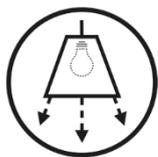
[6b] Réduction flexible de l'éclairage la nuit

Lorsque le flux de véhicules est mesuré en temps réel pour une période donnée (p. ex. 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.

[6c] 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 en douceur et de manière graduée sur une certaine durée (Topstreetlight 2015) afin d'éviter d'incommoder les riverains.



[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.

Commentaire : veiller à utiliser des lampes ne scintillant pas

Selon leur mode de fabrication et d'exploitation, les convertisseurs électroniques alimentent les diodes lumineuses avec du courant oscillant plus ou moins fortement. Par conséquent, l'intensité de la lumière émise scintille elle aussi plus ou moins. Le scintillement peut également se produire lorsque les LED sont atténuées, de sorte que le scintillement déjà présent à l'état non atténué est amplifié ou qu'un nouveau scintillement est provoqué dans le cas de LED sans scintillement.

Il existe deux procédés de variation pour régler l'intensité de la lumière. Dans les lampes modernes, ils sont généralement combinés. Il faut, d'une part, un circuit électronique de commande avec un régulateur de puissance qui limite le courant qui traverse la LED. D'autre part, la gradation du flux lumineux d'une LED est possible jusqu'à un très faible niveau à l'aide de la modulation de largeur d'impulsion. Dans ce cas, le courant dans la LED est enclenché et déclenché de façon binaire, avec des fréquences de 100 Hz et davantage. Si l'on modifie le rapport entre la durée où le dispositif est enclenché et déclenché, la luminosité moyenne de la source change. Il est important que la fréquence de modulation soit suffisamment élevée pour ne pas être perçue par l'être humain (Blattner 2018).

Les scintillements d'une fréquence inférieure à 80 Hz sont perceptibles par l'œil et peuvent être ressentis comme très gênants. Chez les personnes souffrant d'épilepsie photosensible, des scintillements entre 3 et 70 Hz peuvent même déclencher une crise. Lorsque la fréquence est de 100 Hz ou supérieure, l'être humain ne perçoit plus le scintillement consciemment ; la rétine peut cependant détecter ces micromouvements jusqu'à 200 Hz. Même à ces fréquences élevées, on a constaté des répercussions négatives sur l'organisme humain. Une exposition de longue durée à ces scintillements peut provoquer des céphalées, des migraines, des douleurs oculaires, une baisse de l'acuité visuelle, l'inattention ou une baisse de rendement (OFSP 2016).

En ce qui concerne les effets sur la santé, il reste encore beaucoup à faire. Il faut déterminer les effets exacts pour l'organisme des différents facteurs, à l'instar de la fréquence du scintillement ou de la modulation (forme d'oscillation). En l'absence de ces connaissances, la science ne peut pas définir de

seuils de nocivité quantitatifs et donc des valeurs limites. En outre, il y a lieu de supposer que les valeurs mesurées jusqu'ici, par exemple la profondeur de modulation et l'indice de scintillement, ne suffisent pas à couvrir les répercussions complexes sur la santé (Blattner 2018).

Il n'en reste pas moins que l'aspect du scintillement doit être pris en compte lors des achats afin d'éviter que des éclairages fraîchement installés ne doivent être assainis à grands frais si les utilisateurs sont incommodés après leur mise en service. Des indicateurs utiles en l'occurrence sont le « output current ripple » (si possible 5 % ou moins), la profondeur de modulation (mod%), l'indice de scintillement (flickerindex, FI) ou « pourcentage de scintillement » (< 5 % sont considérés comme ne scintillant pas). Les propriétés des LED en matière de scintillement sont faciles à déterminer : il suffit de focaliser l'objectif d'un smartphone ou d'une caméra numérique sur une LED allumée à courte distance. Si l'image sur l'écran présente des lignes, la LED scintille (OFSP 2016, Blattner 2018).

Exemples pratiques pour [6a] : 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 séances 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 (p. 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 Platten 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 (BE) 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).

Exemple pratique pour [6b] : un éclairage qui « observe » le trafic

En octobre 2015, 27 lampes LED pilotées en fonction du flux de circulation de tous les usagers de la route 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'éclairage 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. Par rapport à l'éclairage LED déjà installé qui s'éteint entre 1 h et permet d'économiser 30 % d'énergie supplémentaire. De plus, la population n'a exprimé aucune réclamation pendant la période de test (Haller 2016, Aeberhard 2016). En 2018, l'OFEN lui a décerné le Watt d'Or dans la catégorie des technologies énergétiques (OFEN 2018).

Exemple pratique pour [6c] : 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, avec plus 12000 points lumineux, depuis 2015 (voir annexe 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.

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'utilisateurs de la route et adapter l'éclairage en conséquence. Lorsqu'aucun véhicule ni personne ne se trouve 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 % (voir figure 19). 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).

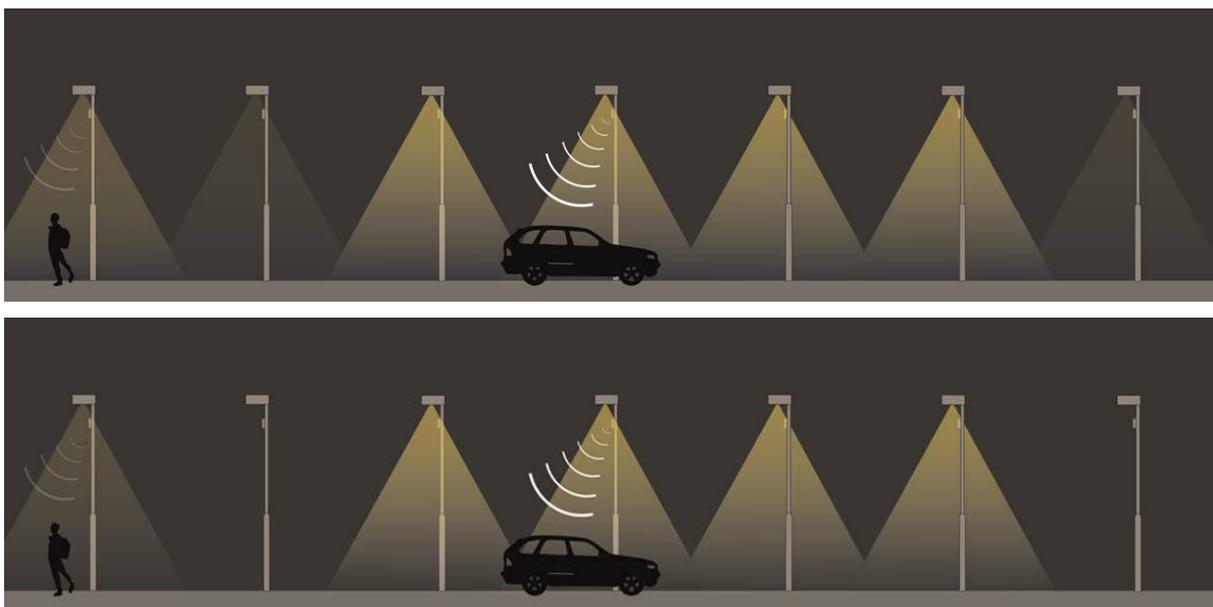


Figure 19 : Pilotage dynamique de l'éclairage routier : des capteurs détectent l'utilisateur de la route et augmentent l'intensité des luminaires suivants ; dans l'exemple illustré, le niveau varie selon qu'il s'agit d'une personne ou d'un véhicule. Après le passage de l'utilisateur, les lampes repassent en mode repos ; selon le réglage de base, elles assurent un éclairage de base (en haut) ou s'éteignent complètement (en bas).

A5.2 Autres infrastructures de transport (gares, arrêts de transports publics, etc.)

A5.2.1 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 leurs alentours.

L'éclairage des arrêts de transports publics et des quais sert tout d'abord aux usagers qui les repèrent plus facilement, peuvent mieux s'y orienter, évitent de se tenir dans la zone de danger, 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 aéroports sont aussi éclairées la nuit pour permettre des 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). Le point 4.5 « Lumière indésirable » de la norme SN EN 12464-2 contient des valeurs standard pour limiter les émissions dans les alentours (voir annexe A3.4.2).

En 2014, le Tribunal fédéral a émis un arrêt principal portant sur l'éclairage d'une gare.

A5.2.2 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.

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 y était excessif au sens de la loi sur la protection de l'environnement (LPE). 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 annexe A3.2.1).

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 et les mécaniciens des trains devraient 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 de réduire l'éclairage 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 annexe A2.4). Parallèlement à la réduction des émissions lumineuses, cela permet aussi de diminuer les coûts énergétiques (voir annexe A2.5).

Une compagnie ferroviaire classe ses gares en plusieurs catégories, en fonction du nombre d'usagers. Les différentes intensités d'éclairage selon la catégorie s'appuient sur la norme SN EN 12464-2. Comme l'éclairage exigé par la norme dépend de la fréquentation, qui varie pour sa part en fonction du moment de la journée, la compagnie réduit l'éclairage aux heures marginales, de 22 heures à 6 heures, selon la situation.

Une autre entreprise ferroviaire équipe 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'éclairage maximal. Dès que des personnes se tiennent sur le quai ou qu'un train entre en gare, l'éclairage 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 troisième entreprise ferroviaire a appliqué dans l'une de ses gares un plan destiné à éclairer partiellement les quais, en fonction des besoins. Sur le quai de la voie A, les lampadaires LED ne sont allumés que lorsque cette voie est utilisée. Et sur le quai de la voie B, les 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.

A5.2.3 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 au point 2.4 permettent d'apprécier si les dispositions du droit fédéral concernant la limitation des émissions lumineuses 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 h et 6 h, réduction de l'éclairage superflu du point de vue de la sécurité).

A5.3 Infrastructures sportives

A5.3.1 Généralités

Une grande partie des installations sportives éclairées est bâtie dans ou à proximité de zones urbaines. 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 annexe A3.4.2) 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'éclairage, 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. Au chapitre « Lumière indésirable », la norme SN EN 12193 propose aussi des valeurs standard pour la limitation des émissions dans le voisinage (voir annexe A3.4.2).

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 différents types 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 à l'annexe A5.3.2.3 de la présente aide à l'exécution.

A5.3.2 Infrastructures sportives en zone bâtie

A5.3.2.1 Généralités

L'éclairage d'infrastructures sportives de plein air (terrains d'entraînement, stades) nécessite souvent beaucoup de lumière. Il y a toujours plus de projecteurs LED produisant des flux lumineux suffisants.

Cependant, d'autres technologies sont encore utilisées, 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 s'il s'agit d'un entraînement ou d'une compétition. Ainsi, sur un terrain de football qui doit être illuminé avec un éclairage horizontal de 120 lux durant les 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 (la hauteur dépend également de la distance entre les projecteurs et la surface du terrain de sport), 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 20).

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.

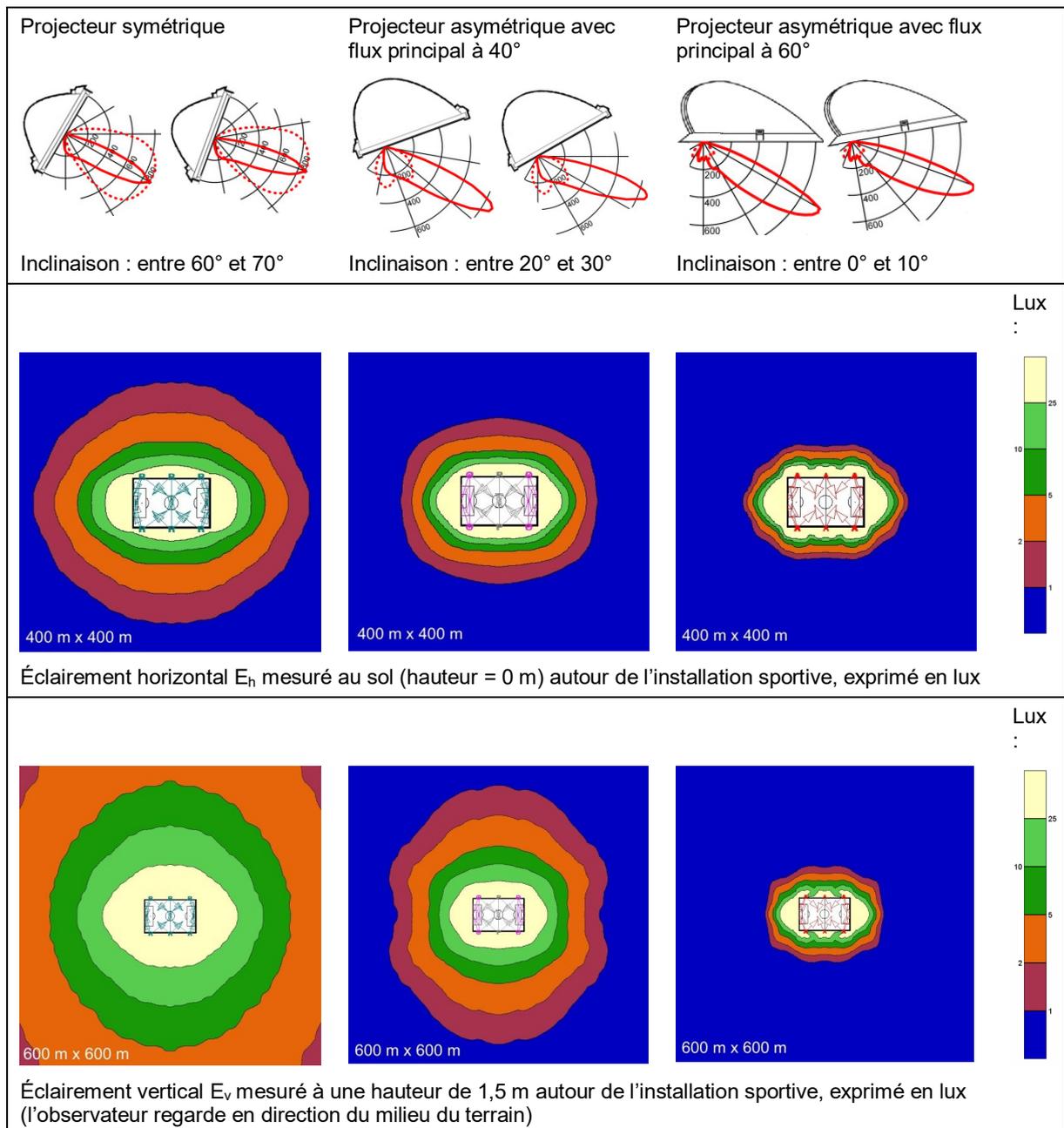


Figure 20 : L'exemple montre un terrain de sport de 100 m sur 64 m, éclairé par respectivement 18 (exemple à gauche et au milieu) et 16 projecteurs (exemple à droite) montés sur six poteaux à une hauteur de 16 m. Avec les trois variantes, l'éclairage horizontal moyen sur le terrain se monte à 200 lux. 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'éclairage horizontal au sol, la rangée inférieure l'éclairage 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 éclairage 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'éclairage diminue le plus nettement lorsqu'on s'éloigne du terrain de sport (source : SLG 301).

A5.3.2.2 Recommandations destinées aux autorités chargées d'autoriser les éclairages d'infrastructures sportives en zone bâtie

[A] Concept 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 annexe A5.3.1) pour calculer, aménager et contrôler cet éclairage. Dans le cadre d'une procédure d'autorisation, il convient d'exiger un concept d'éclairage afin de pouvoir évaluer si l'installation prévue est correcte et si ses effets sur les alentours demeurent aussi restreints que possible. Le chapitre 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 sur les surfaces vitrées 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 de la norme SN EN 12193:2008 (voir tableau 16 à l'annexe A6.2 de la présente aide à l'exécution). Les valeurs qui y figurent correspondent à des valeurs cibles qui représentent 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 après 22 heures, il est recommandé d'appliquer les valeurs indicatives présentées au point 5.2.2 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'être humain :*

- 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 au point 5.3.

– *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 annexe A5.3.3).

[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.

A5.3.2.3 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, Lichtplan GmbH 2019). La numérotation des mesures se réfère au plan en 7 points (figure 2 du chapitre 3).



[2] Intensité / clarté

- Il convient de prévoir un éclairage n'allant pas au-delà de ce qui est nécessaire et d'éviter l'éclairage excessif. Cela réduit aussi la consommation d'énergie.
- Le recours de projecteurs LED permet également de renoncer à un sur-éclairage au moment de l'installation. Cette technologie permet d'adapter de façon optimale le flux de lumière transmis à l'installation et à l'intensité lumineuse requise en fonction de l'utilisation (entraînement, compétition).
- Dans le cas de lampes qui ne sont pas graduables, l'intensité lumineuse peut être adaptée à l'utilisation (entraînement, compétition) à l'aide de modes d'allumage spécifiques (voir annexe A5.3.3).



[4], [5] Choix et positionnement des lampes ; orientation

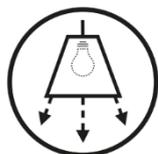


- Dans la mesure du possible, utiliser des projecteurs asymétriques avec un important flux principal (60°), et les installer avec un verre de protection horizontal ou faiblement incliné.
- Une légère inclinaison de 2° à 8° des projecteurs asymétriques avec un flux principal de 60° permet de minimiser les immissions de lumière à l'arrière du candélabre. Si l'inclinaison du verre de protection est plus importante (voir figure 20, colonnes 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.
- Une modification plus modeste de l'orientation (azimut), de quelques mètres seulement, peut au besoin réduire sensiblement l'effet incommode.
- 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.



[6] Gestion du temps / système de commande

- - Définir des heures d'exploitation contraignantes, travailler avec les degrés de variation et les modes d'allumage (voir ci-dessus). Les éclairages LED ne doivent pas être allumés plus tôt.
- - En règle générale, éteindre à 22 heures au plus tard.



[7] Écrans protecteurs

- Veiller, même pour les projecteurs LED asymétriques, à faire écran à la lumière rayonnant vers le haut (ce qui n'est généralement pas le cas pour les projecteurs asymétriques).
- 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 structurelles prises entre l'installation d'éclairage et ses alentours permettent d'éviter ou de réduire les effets de la lumière directe.

A5.3.3 Infrastructures sportives en milieu naturel

A5.3.3.1 Généralités

Avec l'éclairage des parcours de jogging en forêt, des pistes cyclables, des itinéraires de kayak, des manèges extérieurs ou des pistes de ski alpin, de ski de fond ou de luge, les activités sportives en pleine nature restent accessibles 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 annexe A2.1). Les infrastructures nécessaires à ces activités, comme les téléphériques, restent également en service jusque dans la nuit. Pour les éclairer 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.

A5.3.3.2 Mesures de limitation des émissions lumineuses des éclairages d'infrastructures sportives en milieu naturel

La numérotation des mesures se réfère au plan en 7 points de la figure 2 du chapitre 3.



[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 point 3.2).



[2] 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 de 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 éclairages faibles.



[3] Spectre lumineux / couleur de la lumière

- Choisir soigneusement le spectre lumineux à utiliser 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.



[4] 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 sites de repos et de nidification ;
- maintien d'une distance suffisante par rapport à de tels milieux naturels ou paysages protégés ou dignes de protection ;
- préservation de corridors d'obscurité reliés entre eux afin que les habitats des animaux nocturnes restent en réseau ;
- 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.



[5] Orientation

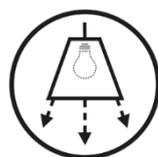
- Il convient d'éclairer de haut en bas afin d'éviter les rayonnements inutiles émis vers le ciel nocturne.
- Lorsqu'on détermine l'orientation des lampes, il faut aussi veiller à éviter la propagation de lumière diffuse dans les milieux naturels ou paysages dignes de protection et à ne pas provoquer 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.).



[6] 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.



[7] Écrans protecteurs

- La lumière doit être restreinte le plus précisément possible aux surfaces à éclairer. Si besoin, on montera des écrans protecteurs sur les lampes pour éviter une diffusion indésirable de la lumière.
- Utiliser des vitres fumées et mates pour les télécabines, les téléphériques et les bâtiments afin que l'éclairage ne parvienne pas à l'extérieur.

A5.4 Installations industrielles, chantiers et lieux de travail extérieurs

A5.4.1 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 et porte atteinte également à l'obscurité nocturne naturelle.
- 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 à l'annexe A5.2).

Dans sa section 4.5, la norme SN EN 12464-2:2014 propose en outre des valeurs indicatives – par exemple pour l'éclairage des façades des immeubles d'habitation voisins – afin d'atténuer l'effet gênant des éclairages extérieurs (pour des explications supplémentaires, voir l'annexe A3.4.2).

A5.4.2 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 7 points visant à limiter les émissions lumineuses, tel qu'illustré par la figure 2 du chapitre 3.



[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 l'annexe A4.



[2] 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 (p. ex. autre intensité ou autre couleur de lumière que l'éclairage de base).



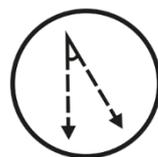
[3] Spectre lumineux / couleur de la lumière

- Choisir soigneusement le spectre lumineux à utiliser 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.



[4] Choix et positionnement des lampes

- En augmentant le nombre de lampadaires, 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.



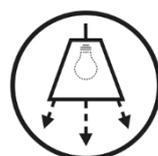
[5] Orientation

- 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.



[6] Gestion dans le temps / système de commande

- L'éclairage doit être entièrement éteint à la fin de l'exploitation. À défaut, il convient de démontrer de manière convaincante 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, p. ex.). Dans le cas des stations-service, cela peut notamment impliquer de n'éclairer plus que les pompes à essence 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.



[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.

A5.5 Balisage lumineux des obstacles à la navigation aérienne

A5.5.1 Généralités

Les obstacles à la navigation aérienne sont les objets (bâtiments, antennes, tours, grues, installations à câbles, éoliennes, lignes à haute tension et toute autre installation de grande hauteur, tout comme des plantes) qui atteignent une hauteur de 60 m ou davantage en zone bâtie ou 25 m et plus en dehors des zones bâties. Les propriétaires de telles installations sont tenus d'enregistrer les objets concernés ou d'obtenir une autorisation de l'Office fédéral de l'aviation civile (OFAC). Les détails sont arrêtés aux art. 63 et suivants de l'*ordonnance du 23 novembre 1994 sur l'infrastructure aéronautique (OSIA, RS 748.131.1)*. L'OFAC examine si une installation peut être érigée du point de vue de la sécurité du trafic aérien et quelles mesures de sécurité, telles que des marquages et/ou des balisages lumineux, doivent être prises.

L'aspect prioritaire dans le balisage lumineux des obstacles à la navigation aérienne est celui de la sécurité pour les appareils volant à basse altitude. Pour les exigences prononcées à ce sujet, l'OFAC s'appuie principalement sur les bases légales suivantes :

- Réglementations de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) : OACI Annexe 14, vol. I / chapitre 6
- OSIA : l'ordonnance régit la construction des infrastructures aéronautiques (aérodromes et installations de navigation aérienne) et l'exploitation des aérodromes. Elle contient en outre des dispositions sur les obstacles à la navigation aérienne.
- Directive AD I-006 F, Obstacles à la navigation aérienne, OFAC 1.7.2019 : elle dresse la liste des mesures de sécurité à prendre, en les classant par type d'obstacle.

Les balisages lumineux des obstacles peuvent engendrer des effets incommodes aussi bien pour l'être humain que pour certains animaux (oiseaux migrateurs, chauves-souris). Cette gêne est spécialement forte en dehors des localités, car la luminosité ambiante y est généralement faible. L'effet incommode est plus prononcé lorsque la nuit est claire que par temps nuageux.

Des investigations (p. ex. Azam 2017) ont montré que les oiseaux migrateurs sont plus attirés par une lumière blanche permanente que par une lumière rouge clignotante. En ce qui concerne les chauves-souris, le balisage a davantage de conséquences pour les espèces résidentes locales que pour leurs congénères migratrices. Pour les premières toutefois, la lumière rouge est moins gênante que la blanche.

A5.5.2 Mesures destinées à réduire l'effet incommode des balisages lumineux des obstacles à la navigation aérienne

Les mesures présentées ci-après peuvent contribuer à réduire l'effet incommode des balisages des obstacles à la navigation aérienne pour l'être humain et pour les animaux. La numérotation fait référence au plan en 7 points visant à limiter les émissions lumineuses qui est illustré dans la figure 2 du chapitre 3.



[2] Intensité

- Adaptation de l'intensité lumineuse aux conditions de visibilité (à l'aide d'appareils de mesure de la visibilité)



[3] Spectre lumineux / couleur de la lumière

- Utiliser si possible une lumière clignotante rouge



[6] Gestion dans le temps / système de commande

- Synchronisation des lumières clignotantes si plusieurs objets doivent être balisés
- Balisage adapté aux besoins, c'est-à-dire repérage des aéronefs à l'aide du radar

Ces mesures satisfont aux exigences de la directive de l'OFAC AD I-006 F « Obstacles à la navigation aérienne », qui prescrit un feu clignotant rouge pour le balisage nocturne et la synchronisation du clignotement pour les installations permanentes ou les complexes d'installations permanents (p. ex. parc éolien).

A5.6 Espaces et places publics

A5.6.1 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'éclairage, 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 éclairages faibles ; il n'existe pas dans ce domaine de normes qui devraient être respectées. En privilégiant des éclairages (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 annexe A5.7.2) 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.

A5.6.2 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 7 points visant à limiter les émissions lumineuses, tel qu'illustré par la figure 2 du chapitre 3.



[1] Nécessité

- L'éclairage des espaces publics devrait s'intégrer dans une stratégie générale d'éclairage ou un plan d'éclairage de grande envergure. L'annexe A4.1 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 faut éviter 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 (l'annexe A4.2.5 fournit des indications supplémentaires sur la prise en compte des questions de sécurité dans les plans d'éclairage).

[2] 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 approprié 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.

**[3] 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 avec un bon rendu des couleurs (malgré son efficacité énergétique plus basse), puisque la plupart des personnes la jugent plus agréable que la lumière blanc neutre ou blanc froid.

**[4] 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 ou l'éclairage LED concentré correspond aux meilleures techniques actuelles pour éviter les émissions lumineuses superflues (voir annexe A5.7.2).
- Les luminaires à caractère historique bénéficient souvent d'un solide soutien de la population, bien qu'ils soient peu efficaces, dirigent mal la lumière et puissent provoquer des éblouissements. En principe, on peut toutefois les équiper eux aussi d'une technologie LED et les adapter de manière à éviter les émissions lumineuses superflues.

**[5] 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.

**[6] Gestion dans le temps / système de commande**

- Lorsqu'une place publique n'est plus fréquentée (p. ex. 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).

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 21).

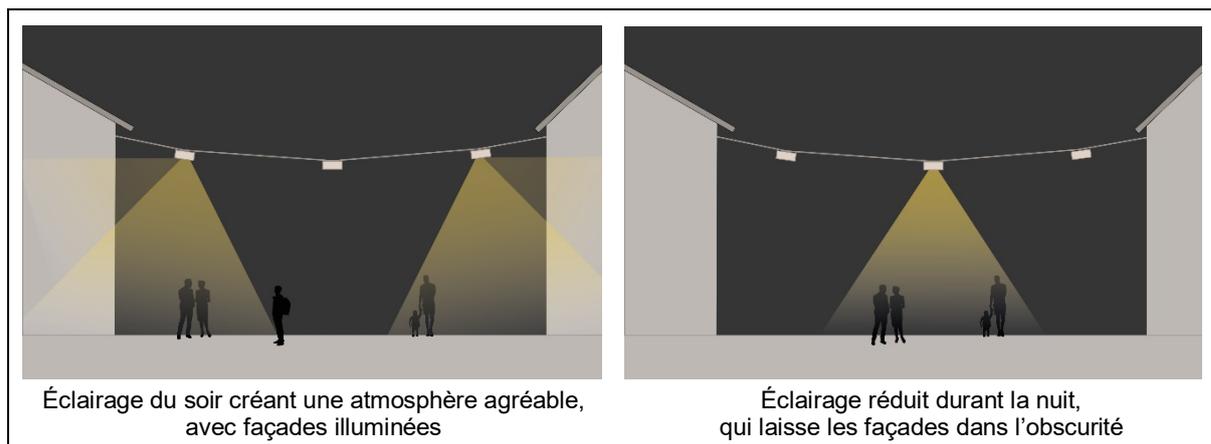


Figure 21 : Disposition schématique et mode de fonctionnement des lampes suspendues à des câbles qui sont utilisées à Lucerne pour éclairer les places du centre-ville. En début de soirée (à gauche), les lampes extérieures éclairent aussi les façades, ce qui met en évidence l'architecture, évite un effet 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 (d'après : Ville de Lucerne 2006).

A5.7 Bâtiments et objets publics

A5.7.1 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 les tours ou les 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. Il s'agit en l'occurrence d'un éclairage inutile qui parvient à l'extérieur.

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 dans le but de l'adapter aux éclairages extérieurs urbains, d'affiner son application et de préparer sa commercialisation (Cieslik 2010).

A5.7.2 Procédé de projection de lumière et éclairage concentré

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 22). 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'éclairage 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 sur le plan esthétique : « La lumière est agréable à l'œil, les contrastes, les saillies et les structures sont bien [...] visibles » (Ulmann 2015, p. 140). D'autre part, l'éclairage précis réduit les émissions lumineuses su-

perflues. 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 n'éclaire les oiseaux nichant dans les remparts, ni les fenêtres sur les façades.

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).

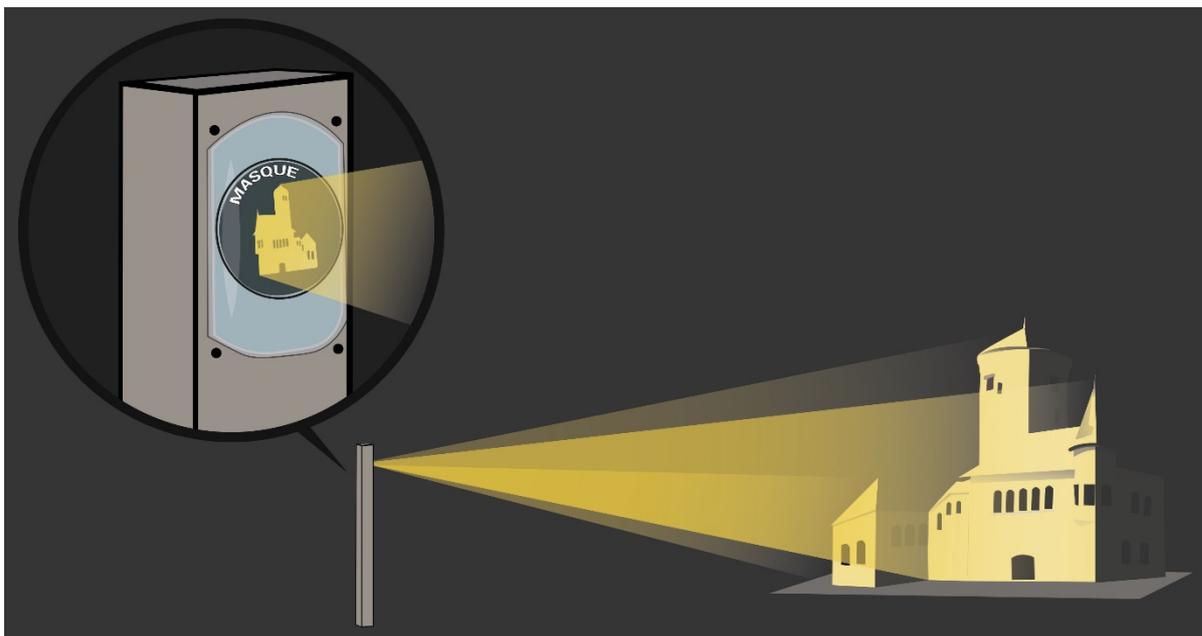


Figure 22: Avec le procédé de projection de lumière, on peut illuminer les façades de manière très précise grâce à des masques contrastés qui filtrent le rayonnement du projecteur.

Outre la technique gobo pour illuminer des façades ou des objets, il est possible d'utiliser des lampes LED spéciales qui peuvent être montées discrètement sur la façade. Pour limiter l'éclairage aux surfaces souhaitées, ces LED sont équipées d'une optique ou d'un masque et sont orientées avec précision. Cette technique d'éclairage, qui est également un arrangement de plusieurs lampes, a déjà été mise en œuvre sur plusieurs bâtiments publics en Suisse.

A5.7.3 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 7 points visant à limiter les émissions lumineuses, tel qu'illustré par la figure 2 du chapitre 3.

[1] Nécessité

- L'éclairage ou l'illumination de certains objets ou bâtiments publics devrait s'intégrer dans une stratégie générale d'éclairage ou un concept d'éclairage de grande envergure. La question se pose de savoir si l'éclairage apporte la valorisation optique souhaitée. L'annexe A4.1 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 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 (p. ex. écrans protecteurs, pas d'éclairage durant la couvaison).

- Il convient de renoncer à l'éclairage de bâtiments et d'objets dans les milieux naturels sensibles.



[2] 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 A4.2.2).



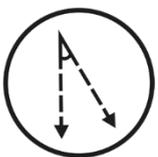
[3] Spectre lumineux / couleur de la lumière

- 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.



[4] 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 ou l'éclairage LED concentré correspondent aux meilleures techniques actuelles pour éviter les émissions lumineuses superflues (voir annexe A5.7.2).
- 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.



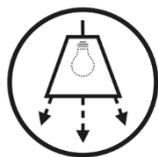
[5] Orientation

- 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.



[6] 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.



[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 2016, l'église du Saint-Esprit située à proximité de la gare fait partie des objets qui sont éclairés toutes les nuits (durée similaire à celle de l'éclairage public). La décision d'éclairer ([1] Nécessité) et la gestion dans le temps ([6]) 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 ([2] 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 ([4] Choix et positionnement des lampes) illuminent l'église d'une lumière blanc chaud ([3] 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 ([5] Orientation). En fonction des secteurs de façade, les luminances obtenues sont comprises entre 0 et 4 candelas par mètre carré (cd/m^2). Pour ne pas éblouir les passants, le socle de l'église n'est pas illuminé. 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 23).



Figure 23 : 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 : Energie Wasser Bern). Dans les projecteurs, des masques 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.

A5.7.4 **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 7 points visant à limiter les émissions lumineuses, tel qu'illustré par la figure 2 du chapitre 3.



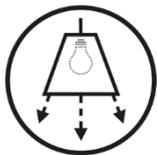
[1] Nécessité

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



[6] Gestion dans le temps / système de commande

Les émissions émanant de l'éclairage intérieur de grands édifices (bâtiments administratifs, p. ex.) 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 fenêtres, 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 à l'annexe A5.9.4).

A5.8 Éclairages publicitaires

A5.8.1 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, d'une part, la liberté économique et, d'autre part, les efforts de maîtrise de la consommation d'énergie ou le maintien de la qualité urbaine et environnementale (voir annexe 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 (p. ex. 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. Un « skybeamer » ayant une portée de 40 km sollicite plus de 10 % du ciel nocturne de la Suisse à titre de surface publicitaire gratuite. Outre l'illumination indésirable du ciel nocturne, ces dispositifs peuvent compromettre la sécurité de la navigation aérienne, distraire les usagers de la route ou, par les stimuli lumineux soudains, induire des réactions de peur chez les oiseaux : ceux-ci dévient alors de leur direction initiale, réduisent leur vitesse de vol et essaient d'éviter la lumière en changeant d'altitude. Ce n'est qu'à partir d'une distance d'environ 1 km que l'influence du rayon lumineux ne peut plus être mesurée (OFEV 2012). Les « skybeamers » peuvent porter atteinte à l'aspect des sites construits, insécuriser la population et rendre impossible la photographie astronomique. Ces divers motifs font régulièrement l'objet de recours de la part de la population.

Dans ses recommandations de 2005, l'OFEV avait déjà invité les cantons à vérifier leurs législations sur la construction et l'environnement et les décisions qui en sont dérivées, et à les concrétiser en interdisant les installations dirigées vers le ciel qui ne remplissent aucune fonction de sécurité ou d'éclairage de bâtiments (skybeamer, projecteurs laser, projecteurs publicitaires et autres sources de lumière artificielle analogues) afin de protéger les espèces, les biotopes et le paysage ; ou alors du moins à restreindre leur utilisation dans la mesure que permet l'état de la technique et de l'exploitation et dans une mesure qui est économiquement supportable pour leurs propriétaires.

De nombreuses communes interdisent l'usage de ce type de projecteur dans leur règlement sur la publicité (p. ex. 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, p. ex.) 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 éclairage horizontal moyen de plus de 50 à 70 lux. Le but de cette disposition est de veiller à ce que l'éclairage 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'éclairage 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 24).

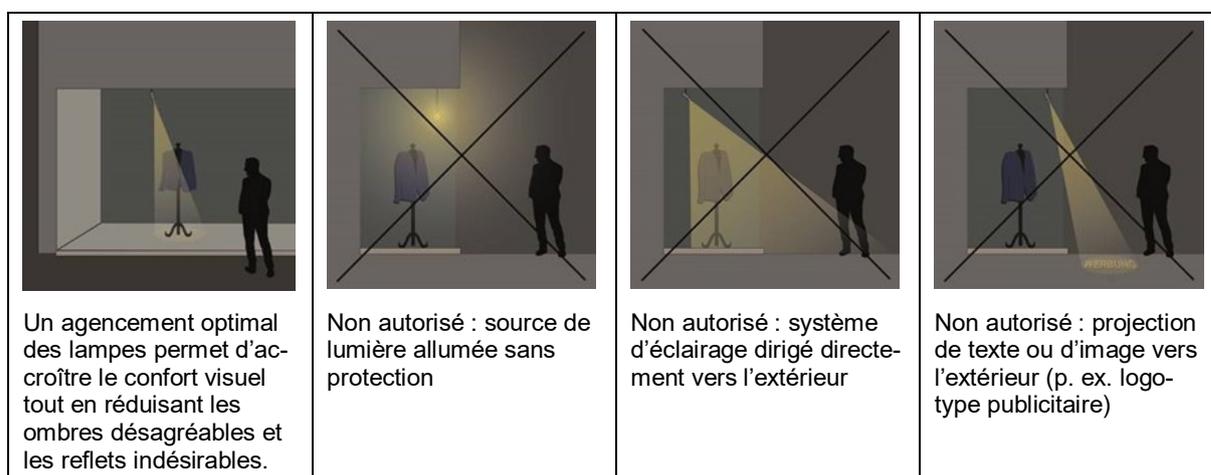


Figure 24 : Exigences et recommandations pour l'éclairage des vitrines à Lucerne (d'après : Ville de Lucerne 2010b).

A5.8.2 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 partie²¹.

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, au titre de la sécurité routière, satisfaire aux exigences en particulier des art. 96 ss de l'*ordonnance sur la signalisation routière (OSR ; RS 741.21)* ;
- éclairages de vitrines ;

La numérotation des recommandations ci-après renvoie au plan en 7 points dans la figure 2 du chapitre 3 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] 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 19 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 communes²².

²¹ 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 varier rapidement ces images lumineuses. 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 incommodes peuvent même en résulter.

²² 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/m² (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/m² (Commune de Balzers 2013).

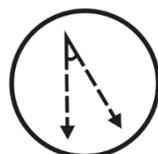
Tableau 19 : Valeurs indicatives pour l'évaluation des émissions des publicités lumineuses.

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



[3] Spectre lumineux / couleur de la lumière

- Pour les publicités non colorées (noir, gris, blanc), on utilisera une couleur blanc chaud.



[5] Orientation

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



[6] 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. Aux endroits où subsiste une obscurité nocturne naturelle, les publicités lumineuses doivent être entièrement éteintes entre 22 heures et 6 heures.

Remarques concernant la mesure et l'évaluation

- Les valeurs indicatives figurant au tableau 19 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'être humain (annexe A1.1.4). Le tableau 6 du chapitre 5.2 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 6. Le nombre ainsi obtenu constitue la valeur d'évaluation et doit respecter les valeurs indicatives du tableau 19.
- 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 effectuer correctement la mise au point et à 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/m².
- Dans les lieux où l'obscurité nocturne naturelle est encore préservée, les publicités autolumineuses doivent être entièrement éteintes entre 22 heures et 6 heures.

D'autres cantons accordent une importance encore plus grande à la sécurité routière et interdisent d'une manière générale les publicités lumineuses à proximité des routes.

A5.9 Bâtiments et installations privés, illuminations de Noël

A5.9.1 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 (p. ex. pour éviter les cambriolages, voir annexe A5.9.5).

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 annexe A3.2.1). 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 CC, voir annexe A3.2.5).

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 à éviter les émissions lumineuses et l'intérêt privé lié à l'exploitation d'éclairages.



Figure 25 : 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.

A5.9.2 Arrêts du Tribunal fédéral concernant les éclairages décoratifs et illuminations de Noël

A5.9.2.1 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 à 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, soit jusqu'à 1 heure du matin, durant la période usuelle locale de l'Avent et de Noël (du premier dimanche de l'Avent au 6 janvier).

A5.9.2.2 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 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 appropriées 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 repos nocturne 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.

A5.9.3 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 chap. 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 faille envisager des mesures de droit administratif consistant par exemple à ordonner une limitation préventive des émissions. Le chapitre 7 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 incommodes, 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 (p. ex. extinction des éclairages décoratifs après 22 heures).

A5.9.4 Mesures de limitation des émissions des éclairages de bâtiments et installations privés

La numérotation des mesures ci-après renvoie au plan en 7 points présenté dans la figure 2 du chapitre 3 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 qu'en ce qui concerne leur durée de fonctionnement.



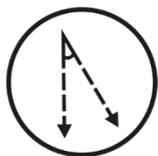
[2] Intensité / clarté

- 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.



[3] 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 annexe A1.1.4). Les particuliers renonceront également à des illuminations de couleur clignotantes.



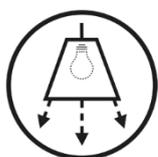
[5] Orientation

- 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 (p. ex. éclairage soudain dissuasif), doivent être dirigés vers le bâtiment et non vers ses alentours.



[6] Gestion dans le temps / système de commande

- Il convient en principe d'éteindre les éclairages décoratifs durant la période de repos nocturne 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.



[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 (mars à mai) ou vers le sud en automne (août à novembre), 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 m 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 annexe A1.2.2).

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 pendant 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 dispositifs 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 incommodes 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.

A5.9.5 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 annexe 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)²³ :

— *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.

— *Détection 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 placé au bon endroit et réglé correctement afin qu'il ne soit pas déclenché inutilement, par des animaux par exemple ; d'autre part, il faut veiller 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.

— *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.

²³ 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.

A5.10 Éclairages en milieu naturel

A5.10.1 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 (p. ex. chauves-souris, oiseaux migrateurs, insectes, vers luisants).

En outre, l'illumination d'objets naturels tels que les sommets montagneux modifie 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 A3.2.2 et A3.2.3).

Les sources de lumière mobiles, comme les éclairages LED utilisés pour des activités de sport et loisirs en forêt ou dans des manèges en plein air, 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.

A5.10.2 Plan en 7 points visant à protéger les espèces et habitats sensibles à la lumière contre les émissions lumineuses

Décrit au chapitre 3, le plan en 7 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

- On renoncera d'une manière générale aux éclairages dans les milieux naturels.
- Si l'on considère malgré tout qu'un éclairage est nécessaire, les conflits d'objectifs touchant à la protection du paysage, aux espèces et aux 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. S'il y a lieu de craindre que la lumière artificielle aura une influence négative sur la population d'une espèce menacée, l'éclairage doit être interdit.
- Il est utile de délimiter, dans le plan directeur, une zone tampon pour les immissions lumineuses autour des zones protégées et les milieux naturels sensibles (p. ex. les eaux). Si un projet est prévu dans la zone tampon, le service de protection de la nature sera associé à la procédure d'autorisation.



[2] 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 (éclairage maximal exprimé en lux, p. ex.) 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 ou de renoncer entièrement à l'éclairage.



[3] 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. Du point de vue de la LPE et de la LPN, il faudrait par conséquent utiliser si possible des LED blanc chaud, dont la température de couleur devrait, d'après l'état actuel des connaissances, être inférieure à 2700 K.²⁴
- Dans certaines situations particulières, les lampes peuvent aussi être munies de filtres afin de restreindre les composantes spectrales indésirables (filtres UV, p. ex.).



[4] 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 (p. ex. dans des ceintures vertes).
- Afin d'éviter autant que possible que de la lumière pénètre dans les habitats sensibles (biotopes d'importance nationale ou régionale, p. ex.), 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 (p. ex. 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.



[5] 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 et peuvent dès lors abandonner complètement un quartier illuminé. Il faut en outre s'assurer que des corridors d'obscurité sont préservés entre le quartier et les territoires de chasse.
- 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 des remparts, des tours historiques ou des églises (voir annexe A5.7.3).

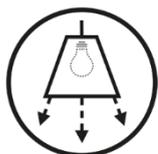
²⁴ Cette recommandation est inspirée de plusieurs études (p. ex. Longcore et al. 2018; Luginbuhl et al. 2014) et des recommandations d'autres pays (voir France à l'annexe A3.4.3).

- Les eaux sont un habitat abritant de nombreux organismes qui peuvent être affectés par la lumière (p. ex. poissons, crustacés, amphibiens, trichoptères, éphémères, puces d'eau, zooplancton ou vers plats). Les eaux peu dégradées et leurs rives ne devraient donc pas être éclairées directement.



[6] 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), mais 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 annexe A5.3.6 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 annexe A5.3.6).
- 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 (p. ex. fermeture automatique des stores ou d'autres systèmes la nuit dans les bâtiments élevés, voir l'exemple pratique de l'annexe A5.9.6 ; pas d'éclairage du sommet des montagnes, voir l'exemple pratique ci-après concernant l'éclairage du Pilate).
 - Pour les chauves-souris, l'éclairage des sorties de leurs quartiers de jour dans les greniers ainsi que des couloirs de vol reliant ces derniers à leur territoire de chasse est problématique du printemps à l'automne. Comme les chiroptères passent le plus souvent l'hiver dans des grottes, l'illumination ne les affecte en principe pas durant cette période de l'année (Fondation pour la protection des chauves-souris 2015). Il faut renoncer à installer de nouveaux éclairages dans des grottes où hibernent des chauves-souris.
- 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 annexe A5.1). 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.



[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'accroître. Dans ce contexte, afin de

tenir dûment compte de la protection des habitats et des espèces, le canton de Zurich a mis en vigueur en 2017 l'« ordonnance de protection des anciens bras de la Limmat à Dietikon, Gerodswil et Oetwil a.d.L. ». 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 26).

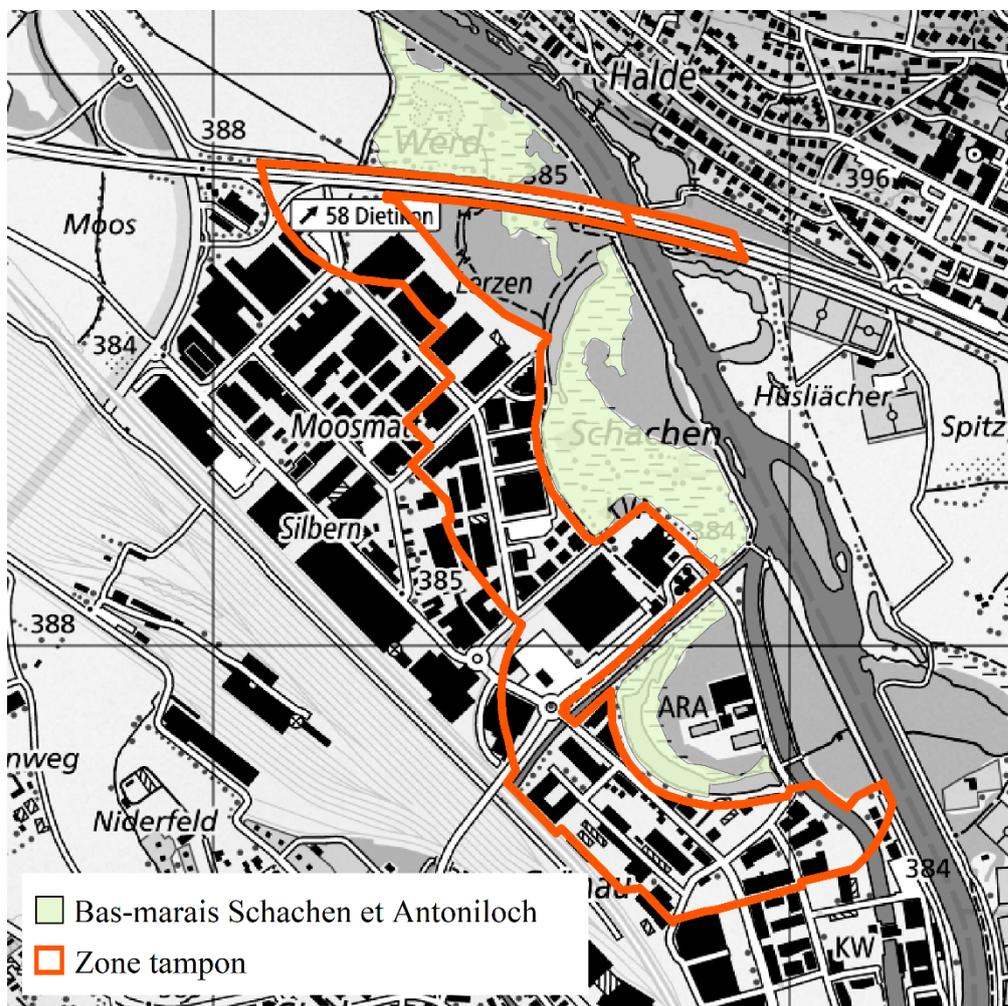


Figure 26 : Zone tampon contre les dérangements le long du bas-marais de Schachen dans la commune zurichoise de Dietikon.

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, l'ordonnance prévoit notamment que les utilisations doivent être aménagées de manière à ce que :

- sur une distance allant jusqu'à 50 m à partir de la limite du marais, des mesures soient prises pour éviter une visibilité directe entre le marais et les espaces extérieurs utilisés régulièrement et durablement par des personnes.
- sur une distance allant jusqu'à 50 m à partir de la limite du marais, aucune lampe fixe visible depuis le marais ne doit être allumée en permanence la nuit entre mars et octobre.
- sur une distance allant jusqu'à 50 m à partir de la limite du marais, les sources de lumière soient 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 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. Patrimoine suisse s'est opposé au permis de construire délivré par le canton de Nidwald et a porté l'affaire jusqu'au 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.

A6 Remarques relatives aux valeurs indicatives concernant l'évaluation de l'effet incommode pour l'être humain

Le chapitre 5 contient des valeurs indicatives permettant d'examiner si la lumière artificielle (de sources situées dans l'environnement) parvenant dans un local d'habitation est incommode, à savoir excessive, pour l'être humain au sens de la LPE. L'évaluation porte sur l'illumination indésirable du local d'habitation et sur l'éblouissement incommode. Des remarques supplémentaires au sujet de ces valeurs indicatives figurent ci-dessous.

A6.1 Remarques complémentaires relatives à l'évaluation de l'illumination des locaux d'habitation durant la phase de repos nocturne (22 h à 6 h)

A6.1.1 Remarques concernant l'évaluation

- L'évaluation porte sur les immissions totales mesurées pour les surfaces de fenêtre des locaux d'habitation.
- Pour cela, on compare l'intensité lumineuse verticale pondérée pour la surface totale de la fenêtre du local d'habitation le plus affecté avec les valeurs indicatives figurant au tableau 5.
- 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 5 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'éclairage 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.

A6.1.2 Remarques concernant la mesure

- Le total des immissions, sous la forme de l'éclairage vertical, peut être facilement mesuré dans une situation donnée à l'aide d'un appareil de mesure approprié (luxmètre). Il faut utiliser des appareils de mesure calibrés.
- 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 % ou à la classe CIE 2* selon la norme CIE 231:2019.
- 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'éclairage 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'éclairage 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, p. ex.) ne doit atteindre la grille de points. La valeur d'évaluation correspond à la moyenne arithmétique des diverses valeurs mesurées.

A6.1.3 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'immissions par l'installation d'éclairage (spécifique) prévue et l'ajouter à la charge déjà existante sur place, qu'on aura déterminée en la mesurant.

A6.2 Remarque complémentaire concernant l'évaluation de l'illumination des locaux d'habitation en dehors de la période de repos nocturne

A6.2.1 Remarques concernant l'évaluation du respect des exigences selon l'annexe A3.4

- L'évaluation porte sur les immissions produites par une installation spécifique et mesurées pour les surfaces de fenêtre des locaux d'habitation.
- 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 (voir annexe A3.4.3, tableau 18), 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 6 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 18. 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).

A6.2.2 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 repos nocturne (voir point A5.2.2).

A6.2.3 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.

A6.3 Remarques complémentaires concernant l'évaluation de l'éblouissement incommo- dant

A6.3.1 Remarques concernant le niveau d'éblouissement k_S

Le niveau d'éblouissement k_S est une valeur auxiliaire qui met en relation la luminance moyenne de la source lumineuse éblouissante, sa surface (exprimée sous forme d'angle solide) et la luminance environnante. En fonction de ce rapport, c'est-à-dire la valeur de k , un nombre plus ou moins important de personnes est incommodé ; ces valeurs ont été obtenues à l'aide d'expériences réalisées avec des sujets de tests (voir tableau 20).

*Tableau 17 : Relation entre le niveau d'éblouissement k_S et le pourcentage de personnes incommo-
dées (fondé sur Assmann et al. 1987 ; Hopkinson 1957 ; LiTG 2011 ; Schierz 2009).*

Niveau d'éblouissement k_S	Nombre de personnes incommodées
32	env. 3 – 10 %
64	env. 15 – 33 %
96	env. 30 – 50 %
160	env. 55 – 70 %

A6.3.2 Remarques concernant l'évaluation

- Il est recommandé de déterminer les paramètres requis pour calculer le niveau d'éblouissement k_S (luminance moyenne \bar{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'immissions.
- Pour la luminance de l'environnement, on utilise la luminance moyenne dans une plage angulaire de $\pm 10^\circ$ 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 (p. ex. en la masquant à l'aide d'un logiciel sur l'image de luminance, voir figure 27).
- 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 7 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.

A6.3.3 Remarques concernant la mesure

- L'évaluation doit se faire à l'aide d'appareils de mesure calibrés.
- La qualité des appareils de mesure doit satisfaire à la classe B selon la norme DIN 5032 ou à CIE 2* selon la norme CIE 231:2019.
- Le luminancemètre doit pouvoir mesurer des valeurs comprises entre $0,01 \text{ cd/m}^2$ et 10^6 cd/m^2 (en plusieurs niveaux). Sa résolution doit se monter à 1 % de la valeur pleine échelle de chaque plage de mesure.
- 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 $\pm 10^\circ$ 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.

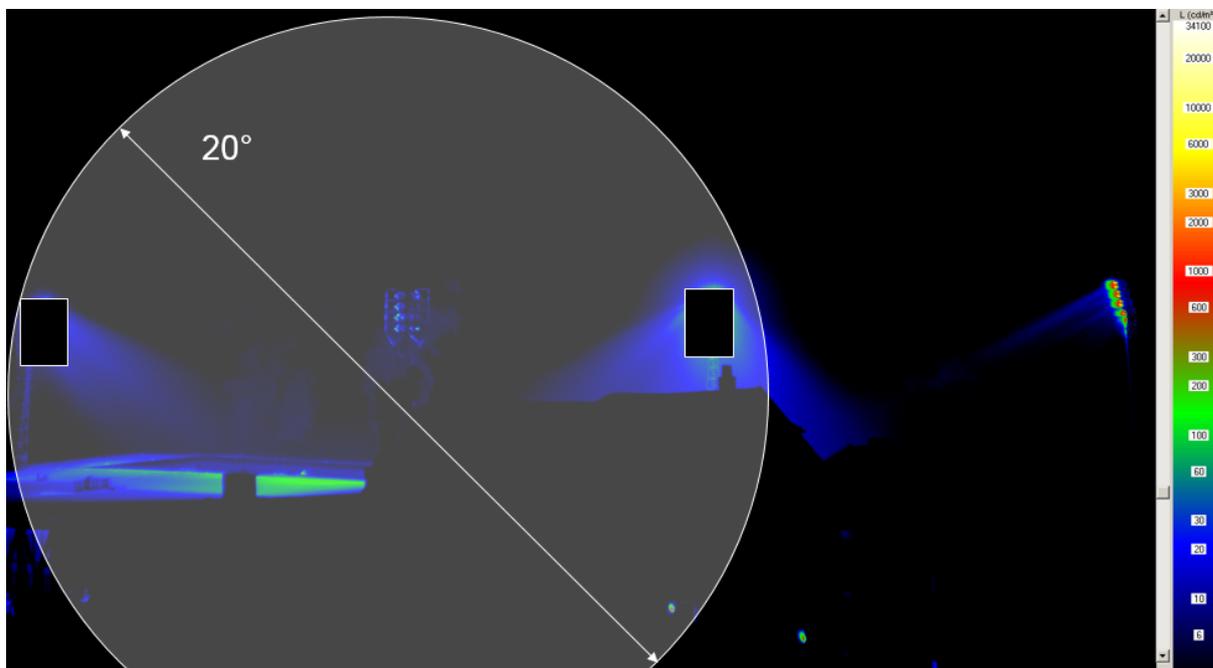


Figure 27 : Détermination de la luminance de l'environnement, qui correspond à la luminance moyenne dans une plage angulaire de $\pm 10^\circ$ autour de la source de lumière à évaluer. La source éblouissante doit rester allumée pendant la saisie, parce qu'elle peut influencer la luminance de l'environnement (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).

A6.3.4 Remarques concernant les prévisions

Il est très astreignant de prévoir l'éblouissement incommode en se fondant sur le calcul de la luminance de la source éblouissante et de celle de l'environnement (voir point 5.3.1). 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'immissions. 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 incommodes 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'immissions situés dans les alentours. Le cas échéant, des mesures techniques prises à la source devraient empêcher autant que possible une telle vue directe.

A7 Glossaire

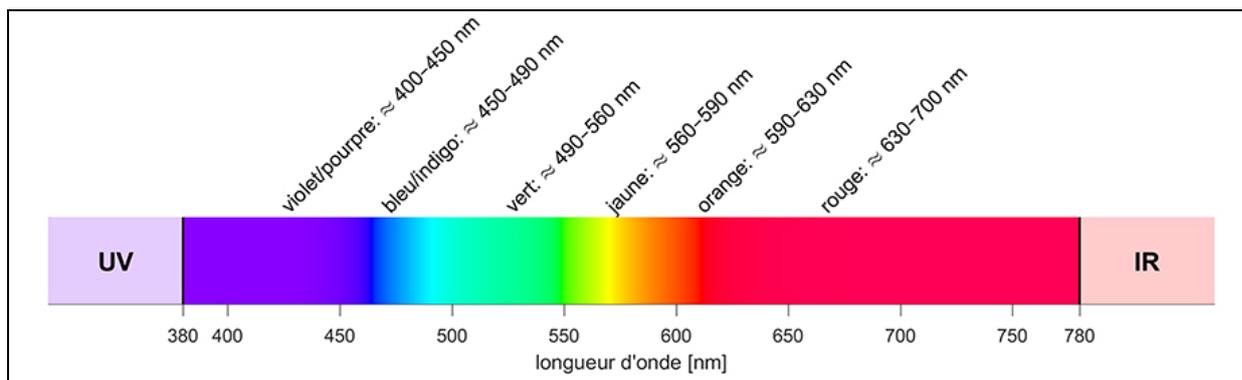


Figure 28: Spectre lumineux : l'être humain peut percevoir le rayonnement électromagnétique dans une plage de longueurs d'onde comprise entre 380 et 780 nanomètres (nm) environ. La perception des couleurs n'est possible qu'avec les cônes de la rétine, et cela à condition que la luminance dépasse 0,003 candela par mètre carré (cd/m^2). Pour reconnaître les couleurs de manière univoque, des luminances supérieures à $3 \text{ cd}/\text{m}^2$ sont nécessaires (Ris 2003).

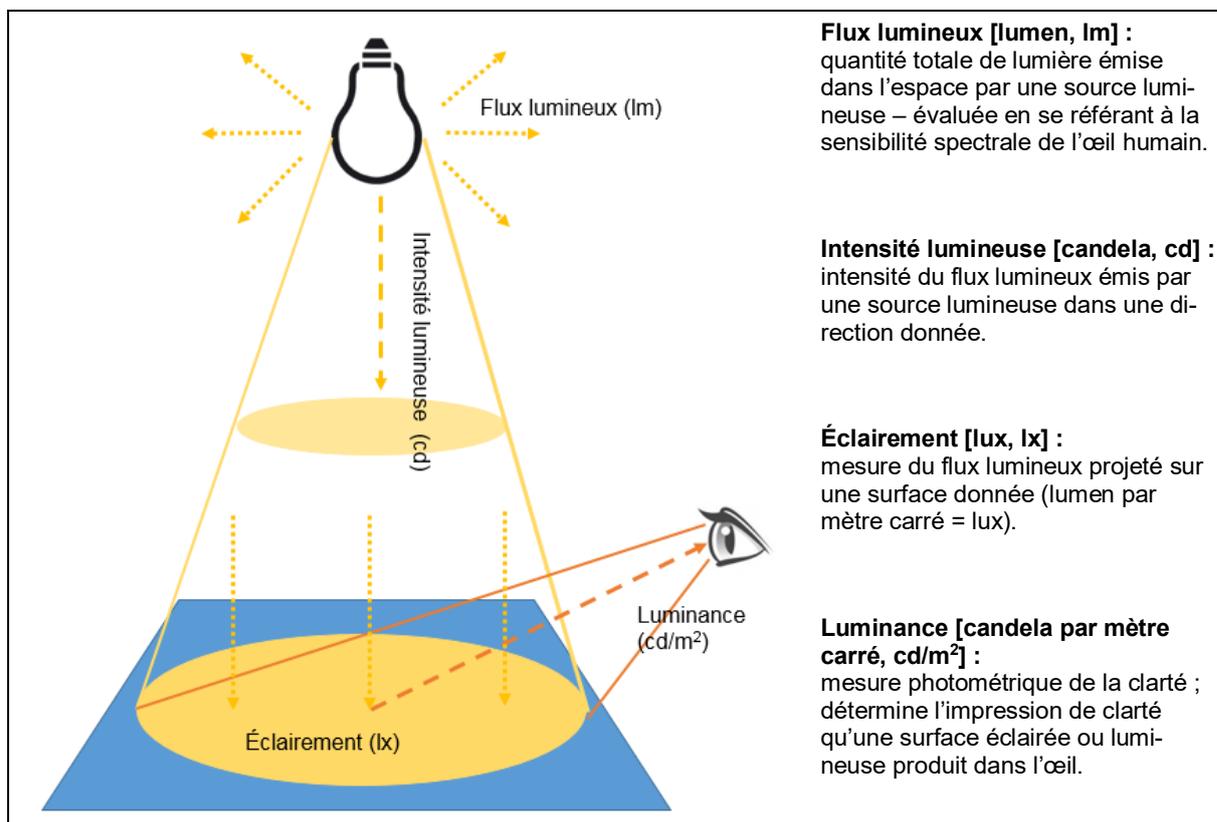


Figure 29 : Représentation des grandeurs photométriques.

Uniformité U	<ul style="list-style-type: none"> – 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 éclairagements minimaux et moyens ou minimaux et maximaux.
Luminance L	<ul style="list-style-type: none"> – 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/m^2] de la surface lumineuse A_1 – Si la surface A_1 et la direction de rayonnement sont perpendiculaires, alors : $L = \frac{I}{A_1} \quad \left[\frac{cd}{m^2} = \frac{lm}{m^2 \cdot sr} \right]$ – 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	<ul style="list-style-type: none"> – Le spectre lumineux décrit la répartition de l'intensité des couleurs (longueurs d'onde) présentes dans la lumière d'une source lumineuse (voir figure 28). – La lumière blanche du soleil contient toutes les longueurs d'onde visibles pour l'être humain, dans des intensités toutefois variables.
Intensité lumineuse I	<ul style="list-style-type: none"> – 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] – $I = \frac{\Phi}{\Omega_1} \quad \left[cd = \frac{lm}{sr} \right]$ – 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	<ul style="list-style-type: none"> – 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]

A8 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.
- Arendt J., 1998: Melatonin and the pineal gland: influence on mammalian seasonal and circadian physiology. *Reviews of Reproduction*. Jan; 3(1): 13-22. doi: 10.1530/ror.0.0030013.
- 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.
- Arrêté du 27 décembre 2018 relatif à la prévention, à la réduction et à la limitation des nuisances lumineuses. République française.
- Assmann, J., et al., 1987: Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen. In *LICHT 7/1987*: 509-515.
- Azam, C. 2017: Impacts of light pollution and wind turbine light emissions on nocturnal biodiversity. Vortrag an der Tagung «Immissionen von Windenergieanlagen: Befeuerung, Lärm und Infraschall» vom 8. März 2017, Deutsch-französisches Büro für die Energiewende (DFBEW), Paris.
- Baker B.J. and Richardson J.M.L., 2006: The effect of artificial light on male breeding-season behaviour in green frogs, *Rana clamitans melanota*, *Can. J. Zool.* 84: 1528–1532.
- 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 Limmatalfläue 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.
- Beck, A., 2005: Aargauer Beispiele zur Problematik Fledermäuse / Licht. Zusammenstellung des Kantonalen Fledermausschutz-Beauftragten des Kantons Aargau.
- 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.
- Becker A., Whitfield A. K., Cowley P. D., Järnegren J. and Næsje T. F., 2012: Potential effects of artificial light associated with anthropogenic infrastructure on the abundance and foraging behaviour of estuary-associated fishes. *Journal of Applied Ecology*, Volume 50, Issue 1: 43-50.
- Bedrosian T. A., Fonken L. K., Walton J. C., Nelson R. J., 2011: Chronic exposure to dim light at night suppresses immune responses in Siberian hamsters. *Biology Letters* 7: 468–471.
- Bedrosian T. A., Aubrecht T.G., Kaugars K.E., Weil Z.M., Nelson R.J., 2013: Artificial light at night alters delayed-type hypersensitivity reaction in response to acute stress in Siberian hamsters. *Brain Behav. Immun.*, 34 (2013), pp. 39-42, 10.1016/j.bbi.2013.05.009.
- Bennie J.J, Duffy J.P, Inger R., Gaston K.J., 2014: Biogeography of time partitioning in mammals. *Proc Natl Acad Sci.*;111(38):13727–32. <https://doi.org/10.1073/pnas.1216063110>.
- 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.
- Blattner, P., 2015: Beurteilung von Solaranlagen. Eidgenössisches Institut für Metrologie METAS: 12 S.
- Blattner, P.; 2018: Das richtige Licht, zur richtigen Zeit. In *METinfo*, Zeitschrift für Metrologie, Vol. 25, 1/2018: 9-13
- 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.

- Bolliger J., Hennet T., Wermelinger B., Bösch R., Pazur R., Blum S., Haller J. and Obrist M. K., 2020: Effects of traffic-regulated street lighting on nocturnal insect abundance and bat activity. *Basic and Applied Ecology*, Volume 47: 44-56.
- Breuer, S., 2015: Bedarfsgerecht gesteuerte LED – die Zukunft bei der Strassenbeleuchtung. In: *Infrastruktur- und Tunnelbau*, 4/2015: 84-85.
- 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.
- Bruderer, B., 2017: Vogelzug – Eine Schweizerische Perspektive. *Der Ornithologische Beobachter*, Beiheft 12: 209 S.
- 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.) 2020: Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windkraftanlagen (WKA-Schattenwurfhinweise). LAI. Stand: 23.1.2020. 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.
- Buchanan, B. W., 1993: Effects of enhanced lighting on the behaviour of nocturnal frogs. In: *Animal Behaviour* 45(5): 893-899.
- CIE 150:2017: Guide on the Limitation of the Effects of Obtrusive Light from Outdoor Lighting Installations. Commission International de l'Eclairage (CIE), Wien: 54 S.
- CIE 191:2010: Recommended System for Mesopic Photometry Based on Visual Performance. Commission International de l'Eclairage (CIE), Wien: 79 S.
- CIE 231:2019: CIE Classification System of Illuminance and Luminance Meters. Commission International de l'Eclairage (CIE), Wien: 42 S.
- Cieslik, T., 2010: Schattentheater. In: *TEC21 – Schweizerische Bauzeitung*, 136 (2010), espazium – Der Verlag für Baukultur, Zürich: 34-40.
- Daly M., Behrends P. R., Wilson M. I., Jacobs L. F., 1992: Behavioural modulation of predation risk: moonlight avoidance and crepuscular compensation in a nocturnal desert rodent, *Dipodomys merriami*, *Animal Behaviour*, Volume 44, 1: 1-9.
- Daouk, A., 2015: Lyon: Zwischen funktionaler und ästhetischer Beleuchtung. In: *forum raumentwicklung* 03/2015. Bundesamt für Raumentwicklung ARE, Bern: S. 30-33.
- Dark Sky Ireland, Espey B., 2020: BEST PRACTICE PUBLIC LIGHTING, https://www.darksky.ie/wp-content/uploads/2020/04/BestPracticesInPublicLighting_BEspey2020.pdf
- de Molenaar, J., Sanders, M., Jonkers, 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.
- Dice LD. 1945. Minimum intensities of illumination under which owls can find dead prey by sight. *Am. Nat.* 79, 385–416. (doi:10.1086/281276).
- DIN 5032-7: Lichtmessung - Teil 7: Klasseneinteilung von Beleuchtungsstärke- und Leuchtdichtemessgeräten. DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: 3 S.
- Dominoni D. M., Carmona-Wagner E. O., Hofmann M., Kranstauber B., Partecke J., 2014: Individual-based measurements of light intensity provide new insights into the effects of artificial light at night on daily rhythms of urban-dwelling songbirds. *Animal Ecology* Volume 83, Issue 3, 681-692.
- Dunlap, J. C., 1999: Molecular bases for circadian clocks. *Cell* 96, 271-290.
- Dwyer RG, Bearhop S, Campbell HA & Bryant DM., 2012: Shedding light on light: benefits of anthropogenic illumination to a nocturnally foraging shorebird. *Journal of Animal Ecology*. 82, 478–485. (doi:10.1111/1365-2656.12012).
- 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 Urserental / 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.
- Fonken L.K., Kitsmiller E., Smale L., Nelson R.J., 2012: Dim nighttime light impairs cognition and provokes depressive-like responses in a diurnal rodent. *Journal of Biological Rhythms*. Volume 27:319–327.
- 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.
- Gaston K.J., Bennie J., Davies T.W., Hopkins J., 2013: The ecological impacts of nighttime light pollution: a mechanistic appraisal, *Biol. Rev.* 88: 912–927.
- Gaston, K.J., Duffy, J.P., Gaston, S. et al., 2014a: Human alteration of natural light cycles: causes and ecological consequences. *Oecologia* 176, 917–931 (2014). <https://doi.org/10.1007/s00442-014-3088-2>.
- Gaston K.J. and Bennie J., 2014b: Demographic effects of artificial nighttime lighting on animal populations. In: *Environmental Reviews* 22 (4): 323-330. <https://doi.org/10.1139/er-2014-0005>.
- 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.
- Giavi, S., Blösch, S., Schuster, G. & Knop E., 2020: Artificial light at night can modify ecosystem functioning beyond the lit area. *Sci Rep* 10, 11870. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68667-y>
- Giavi, S., Fontaine, C. & Knop, E., 2021: Impact of artificial light at night on diurnal plant-pollinator interactions. *Nat Commun* 12, 1690. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22011-8>
- 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.
- Group and Ecological consequences of artificial night lighting (conference).
- Häder, D.-P., 2004: Nestien, 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 efficacité 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.
- Hoffmann J., Palme R., Eccarda J. A., 2018: Long-term dim light during nighttime changes activity patterns and space use in experimental small mammal populations. *Environmental Pollution*, Volume 238: 844-51.
- Hölker, F., Wolter, C., Perkin, E. K. & Tockner, K., 2010a: Light pollution as a biodiversity threat. *Trends in Ecology and Evolution* 25, 681– 682.
- Hölker, F., T. Moss, B. Griefahn, W. Kloas, C. C. Voigt, D. Henckel, A. Hänel, P. M. Kappeler, S. Völker, A. Schwoppe, S. Franke, D. Uhrlandt, J. Fischer, R. Klenke, C. Wolter, and Tockner K.. 2010b: The dark side of light: a transdisciplinary research agenda for light pollution policy. *Ecology and Society* 15(4): 13.

- Hönig, R., 2004: Plan Lumière: Stadtplanung in der Nacht. In: Hochparterre 17(2004). Hochparterre AG, Zürich: S. 20-22.
- Hopkinson, R.C., 1957: Evaluation of Glare. *Illuminating Engineering* 52: 305-316.
- Hotz, T., Kistler, C. & Bontadina, F., 2011: Ökologische Auswirkungen künstlicher Beleuchtung. Grundlagenbericht. SWILD, Zürich, 121 Seiten.
- 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.
- Jones, K.E., Bielby, J., Cardillo, M., Fritz, S.A., O'Dell, J., Orme, C.D.L. et al., 2009: PanTHERIA: a species-level database of life history, ecology, and geography of extant and recently extinct mammals. *Ecology*, 90, 2648.
- Kalinkat, G., Grubisic, M., Jechow, A., van Grunsven, R. H. A., Schroer, S., and Hölker, F., 2021: Assessing long-term effects of artificial light at night on insects: what is missing and how to get there, *Insect Conservation and Diversity*. Volume 14, Issue 2: 260-70.
- 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.
- Kölz, A.; Müller-Stahel, H-U.; Keller, H.; Brunner, U.; Vereinigung für Umweltrecht; Schweiz. -; Schweiz. - 1983. 1985-2004.], 1985-2004
- 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 complètement : comment faire ? Vortrag an der PUSCH-Tagung « Réduire les émissions lumineuses dans les communes » vom 10.11.2015. Municipalité de Corgé-mont.
- 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., Perret, M., Théry, M., 2013: Light Pollution Modifies the Expression of Daily Rhythms and Behavior Patterns in a Nocturnal Primate. *PLoS ONE* 8(11): e79250. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0079250>
- Le Tallec, T., 2014: Dossier « La pollution lumineuse ». Internet : <http://www.webdeveloppementdurable.com/dossier-la-pollution-lumineuse/>, état : 30.6.2014 (consulté le 18.10.2016).
- Le Tallec, T., Théry, M., Perret, M., 2016: Melatonin concentrations and timing of seasonal reproduction in male mouse lemurs (*Microcebus murinus*) exposed to light pollution, *Journal of Mammalogy*, Volume 97, Issue 3, Pages 753–760, <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyw003>
- Lichtplan GmbH (Hrsg.) 2019: Berechnungen zur Blendung (k-Werte): Beleuchtungen von Fussball- und Tennisplätzen (18MR037). Bericht im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU, Bern: 58 S.

- 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.
- Longcore, T., Rodríguez, A., Witherington, B., Penniman, JF., Herf, L., Herf, M., 2018: Rapid assessment of lamp spectrum to quantify ecological effects of light at night. *J Exp Zool*: 1–11.
<https://doi.org/10.1002/jez.2184>
- Longland, W. S., and Price, M. V., 1991: Direct Observations of Owls and Heteromyid Rodents: Can Predation Risk Explain Microhabitat Use? *Ecology*, vol. 72, no. 6, pp. 2261–2273.
- Luginbuhl, C. B., Boley, P. A., & Davis, D. R., 2014. The impact of light source spectral power distribution on sky glow. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*: 139, 21–26.
- 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.
- Miller, M. W., 2006: Apparent Effects of Light Pollution on Singing Behavior of American Robins, *The Condor*, 108(1), 130-139.
- 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>)
- Moshhammer, H. und Kundi, M., 2013: Medizinische Beurteilungsgrundlagen der Passiven Blendung – Version Dezember 2013. Institut für Umwelthygiene, Medizinische Universität Wien. Wien: 73 S.
- Mosler-Berger, Ch., 2013: Nächtliche Beleuchtung beeinträchtigt Lebensrhythmen – moderne Lösungsansätze. *Wildtier Schweiz, Fauna Focus* 8 «Licht».
- 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.
- Office fédéral de l'aviation civile (éd.) 2019 : Directive AD I-006 F, Obstacles à la navigation aérienne. Version 2.0, 1.7.2019. Berne: 39 p.
- Office fédéral de l'énergie (éd.) 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 p (en allemand).
- Office fédéral de l'énergie (éd.) 2016 : Statistique suisse de l'électricité 2015. Berne : 56 p.
- Office fédéral de l'énergie (éd.) 2018 : L'Office fédéral de l'énergie décerne le Watt d'Or 2021, le prix suisse de l'énergie. Communiqué de presse du 11 janvier 2018.
- Office fédéral de l'environnement (éd.) 2010 : L'état du paysage en Suisse. Rapport intermédiaire du programme Observation du paysage suisse (OPS). État de l'environnement n° 1010. Berne : 64 p.
- Office fédéral de l'environnement (éd.) 2012 : Effets de la lumière artificielle sur la diversité des espèces et l'être humain, Rapport du Conseil fédéral donnant suite au postulat Moser 09.3285, 29 novembre 2012. Berne : 22 S.
- Office fédéral de l'environnement (éd.) 2020 : Conception « Paysage suisse ». Paysage et nature dans les domaines politiques de la Confédération. Info Environnement n° 2011. Berne : 52 p.

- Office fédéral de l'environnement et Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (éd.) 2013 : Nouvelles approches pour relever la qualité du paysage : Rapport intermédiaire du programme Observation du paysage suisse (OPS). Connaissance de l'environnement n° 1325. Berne et Birmensdorf : 75 p.
- Office fédéral de l'environnement et Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (éd.) 2017 : Mutation du paysage : Résultats du programme de monitoring Observation du paysage suisse (OPS). État de l'environnement n° 1641. Berne et Birmensdorf: 72 p.
- Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (aujourd'hui : Office fédéral de l'environnement) (éd.) 2005 : Recommandations pour la prévention des émissions lumineuses. L'environnement pratique n° 8010 (VU-8010-f). Berne : 37 p.
- Office fédéral de la santé publique (éd.) 2016 : Fiche d'information – lampes à LED (état : 1^{er} novembre 2016). Berne, 16 p.
- Office fédéral du développement territorial (éd.) 2015 : Aménagement du territoire et vie nocturne – La société 24h /24 et ses conséquences. Forum du développement territorial 03/2015. Berne: 104 p.
- Owens, A.C.S., Cochard, P., Durrant, J., Farnworth, B., Perkin, E.K. & Seymoure, B., 2020: Light pollution is a driver of insect declines. *Biological Conservation*, 241, 108259.
- Perlman I., Normann R.A., 1998: Light adaptation and sensitivity controlling mechanisms in vertebrate photoreceptors. *Progress in Retinal Eye Research*, Volume 17, Issue 4, pp. 523-563.
- 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.
- Perry, G., Buchanan, B. W., Fisher, R. N., Salmon, M., and Wise, S. E., 2008: Effects of artificial night lighting on amphibians and reptiles in urban environments. *Urban Herpetology* 3: 239–256.
- Phillips, J.B., and Borland, S.C., 1992: Behavioural evidence for the use of a light dependent magnetoreception mechanism by a vertebrate. *Nature* 359:142 144.
- Rand, A. S., et al., 1997: Light levels influence female choice in Túngara frogs: predation risk assessment? In: *Copeia*1997: 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.
- Rich, C., and Longcore, T., 2006: *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. Island Press Washington, Chapter 2: 19-37.
- Ris, H. R., 2003: *Beleuchtungstechnik für Praktiker*. VDE Verlag GmbH, Berlin und Offenbach: 388 S.
- Robert, K. A., Lesku, J. A., Partecke, J., and Chambers, B., 2015: Artificial light at night desynchronizes strictly seasonal reproduction in a wild mammal. *Biological Sciences*, Volume 282, Issue 1816.
- 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.
- Santos, C.D., Miranda, A.C., Granadeiro, J.P., Lourenço, P.M., Saraiva, S., and Palmeirim, J.M., 2010: Effects of artificial illumination on the nocturnal foraging of waders. *.Acta Oecol.* 36, 166–172. (doi:10.1016/j.actao.2009.11.008).
- 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 Stadtlcht – Alles unter Kontrolle? In: DAS ARCHIV 62. Magazin für Post- und Telekommunikationsgeschichte (2013), 3, Frankfurt am Main: 27-35.
- 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 301:2015: 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.
- SLG Schweizer Licht Gesellschaft (Hrsg.) 2015: Licht für die Schweiz: Lichtmarkt Schweiz - Analyse 2014. Bericht im Auftrag des Bundesamts für Energie BFE, Bern: 44 S.
- SLG Schweizer Licht Gesellschaft (Hrsg.) 2016: Ermittlung der vertikalen Beleuchtungsstärke an Fassaden im Nahbereich von optimal geplanten Strassenbeleuchtungen. Bericht im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU, Bern: 11 S.
- SLG Schweizer Licht Gesellschaft (Hrsg.) 2018: Schriftliche Hinweise der Fachgruppe 51 «Strassen und Plätze» vom 25. April 2018, Olten: 7 S.
- SN 586 491:2013 (SIA 491): Vermeidung unnötiger Lichtimmissionen im Aussenraum. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), Zürich: 24 S.
- SN EN 12193:2019: 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 Patrimoine 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.
- Touzot, M., Lengagne, T., Secondi, J., Desouhant, E., Théry, M., Dumet, A., Duchamp, C., Mondy, N., 2020: Artificial light at night alters the sexual behaviour and fertilisation success of the common toad-Environ. Pollut., 259, article : 113883.
- Tribunal fédéral (éd.) 2014 : Les CFF doivent réduire l'éclairage d'une gare. Communiqué de presse du Tribunal fédéral du 23 avril 2014. Lausanne : 2 p.
- 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.

Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.) 2019: Technische Massnahmen zur Minderung akzeptanzhemmender Faktoren der Windenergienutzung an Land. Dessau-Roßlau: 24 S.

Upham, N. S., and Hafner, J. C., 2013: Do nocturnal rodents in the Great Basin Desert avoid moonlight?, *Journal of Mammalogy*, Volume 94, Issue 1, Pages 59–72, <https://doi.org/10.1644/12-MAMM-A-076.1>.

Van Doren, B. M., Horton, K. G., Dokter, A. M., Klinck, H., Elbin, S. B., Farnsworth A., 2017: Intense urban lights alter bird migration. *Proceedings of the National Academy of Sciences Oct 2017*, 114 (42) 11175-11180; DOI: 10.1073/pnas.1708574114.

Vaz, S., Manes, S., Gama-Maia, D., Silveira, L., Mattos, G., Paiva, P. C., Figueiredo, M. and Lorini, M. L., 2021: Light pollution is the fastest growing potential threat to firefly conservation in the Atlantic Forest hotspot, *Insect Conservation and Diversity*, Volume 14, Issue 2: 211-224.

Vogelwarte, 2021: <https://www.vogelwarte.ch/de/voegel/ratgeber/ Gefahren-fuer-voegel/stoerung-durch-licht>, Stand vom 08.06.2021.

Vollsnes, AV., Eriksen, AB., Otterholt, E., Kvaal, K., Oxaal, U., Futsaether, CM., 2009: Visible foliar injury and infrared imaging show that daylength affects short-term recovery after ozone stress in *Trifolium subterraneum*. *J Exp Bot.* Vol.60(13):3677-86. doi: 10.1093/jxb/erp213.

Vowles, A. S., and Kemp, P. S., 2021: Artificial light at night (ALAN) affects the downstream movement behaviour of the critically endangered European eel, *Anguilla Anguilla*. *Environmental Pollution*-Volume 274, 116585.

WALLS, G. L., 1942: The vertebrate eye and its adaptive radiation. Hafner Publishing, New York, New York, USA

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).

Crédits photographiques

fig. 2, 6, 10, 19, 21, 22, 24

Andréa Savoy, division Bruit et RNI, OFEV

fig. 1, 4, 9, 11, 13, 16, 23/image de gauche, 25, 26, 28, 29

OFEV

fig. 5, 15, 27

METAS

fig. 12

WSL

fig. 14, 20

SLG

fig. 17

commune de Thalwil

fig. 18

Ville de Lausanne

fig. 23/image de droite

Energie Wasser Bern