

Étude AUBE

Aménagement Urbain Biodiversité et Éclairage

Île de La Réunion



Remerciements

Nous adressons tous nos remerciements aux personnes et structures qui nous permis de réaliser ce travail, en nous apportant des informations, nous accueillant ou nous guidant sur le terrain :

Mathieu Saliman, Valentin Le Tellier, Janis Glamport, Samuel Laslandes, Jean-Philippe Siblet, Romain Sordello, Clémentine Azam, Nicolas Laurent, François-Xavier Couzi, Martin Riethmuller, Patrick Pinet, Lionel Try, Sarah Fourasté, Gildas Monier, Marc Salamolard, Lucie Labbé, Christine Duchemann, Claire Jean, Jérémie Bossert, Stéphane Ciccione, Lola Massé, Christophe Bizien, Erwan Lagabrielle, Idriss Gravier, Daniel Crescence, Priscille Labarrère, Fabio Falchi, etc.

ÉTUDE AUBE

AMÉNAGEMENT URBAIN ÉCLAIRAGE ET BIODIVERSITÉ ÎLE DE LA RÉUNION

Affaire suivie par : Paul Verny et Samuel Busson

Cerema Méditerranée

Département Aménagement des Territoires

Service Littoral Énergies et Biodiversité
et Service Aménagement Réseaux et Transports Urbains

Tél : 04 42 24 77 64 et 04 42 24 77 61

paul.verny@cerema.fr

samuel.busson@cerema.fr

Références de l'affaire 2015 : C15MA0127

Destinataire : Matthieu Saliman, DEAL Réunion/ SEB/ UBMT

Objet du rapport : Version 10 novembre 2017

Relecteurs : Jean-Baptiste Savin, Marine Millot (version antérieure)

Les photographies illustrant ce rapport, sauf mention contraire, ont été prises par Paul Verny et Samuel Busson, auteurs de ce rapport.



SOMMAIRE

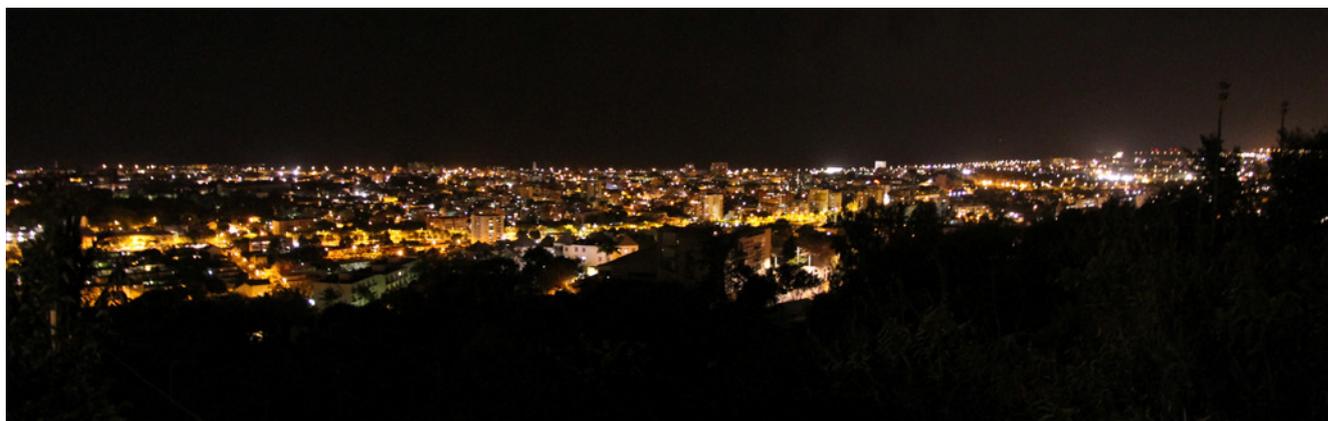
1. RAPPEL DU CONTEXTE ET DES OBJECTIFS DE L'ÉTUDE.....	9
2. ÉTAT DES CONNAISSANCES DES EFFETS DE L'ÉCLAIRAGE ARTIFICIEL SUR LA BIODIVERSITÉ	11
2.1 RAPPEL DES EFFETS GÉNÉRAUX SUR LA BIODIVERSITÉ.....	12
2.2 GÉNÉRALITÉS SUR LES SYSTÈMES VISUELS DES VERTÉBRÉS	13
2.2.1 Vision photopique et scotopique et intensité lumineuse	13
2.2.2 Adaptation aux faibles conditions d'éclairage et éblouissement	13
2.2.3 Sensibilités spectrales	14
2.2.4 Bilan sur les systèmes visuels des vertébrés	14
2.3 EFFETS PAR TAXONS	14
2.3.1 Effet de l'éclairage sur les mammifères	15
2.3.2 Effet de l'éclairage sur les oiseaux	20
2.3.3 Effet de l'éclairage sur les amphibiens et reptiles	22
2.3.4 Effet de l'éclairage sur les insectes	27
2.3.5 Effet de l'éclairage sur les poissons et les invertébrés aquatiques	28
2.3.6 Effet de l'éclairage sur la flore chlorophyllienne	32
2.3.7 Bilan des effets par taxons	34
2.4 CARACTÉRISTIQUES DES SYSTÈMES D'ÉCLAIRAGE ET IMPACTS SUR LA BIODIVERSITÉ	36
2.4.1 Caractérisation spectrale de la lumière	36
2.4.2 Technologies de lampes utilisées en éclairage extérieur	37
2.4.3 Impacts des courbes spectrales identifiés sur les espèces	43
2.4.4 Bilan de l'effet des différentes technologies d'éclairage sur la biodiversité	44
2.5 MESURES DE FLUX, DE LA POLLUTION LUMINEUSE ET OBSERVATION DU CIEL NOCTURNE	45
2.5.1 Définition	45
2.5.2 Présentation de quelques méthodes d'évaluation de la pollution lumineuse	45
3. LE CONTEXTE ÉNERGÉTIQUE DE L'ÎLE DE LA RÉUNION	53
3.1 L'OBSERVATOIRE ÉNERGÉTIQUE DE LA RÉUNION	53
3.1.1 Le contexte énergétique général	53
3.1.2 La production d'électricité sur l'île de La Réunion	54
3.1.3 La consommation d'électricité à La Réunion	55
3.1.4 Focus sur la consommation de l'éclairage public	56

3.2 LE SCHÉMA RÉGIONAL CLIMAT AIR ÉNERGIE (SRCAE) DE LA RÉUNION	58
3.2.1 Objectifs du SRCAE	58
3.2.2 Diagnostic du SRCAE	59
3.2.3 Orientations du SRCAE	60
3.3 PROGRAMMATION PLURIANNUELLE DEL'ENERGIE (PPE) DE LA RÉUNION	62
3.4 CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DE L'ÉCLAIRAGE URBAIN SUR L'ÎLE DE LA RÉUNION	63
3.4.1 Analyse de l'éclairage sur 5 communes	63
3.4.2 Les typologies d'éclairage représentatives	70
3.4.3 Extraits de diagnostics de parcs d'éclairage urbains réunionnais	83
4. ÉVALUATION PERFORMANTIELLE DES INSTALLATIONS D'ÉCLAIRAGE EXTÉRIEUR.....	85
4.1 LES ENJEUX ÉNERGÉTIQUES	85
4.1.1 Installations allumées à des heures sans fréquentation	86
4.1.2 Installations trop puissantes ou surabondantes au regard des besoins.....	87
4.2 LES ENJEUX EN LIEN AVEC LA POLLUTION LUMINEUSE	89
4.2.1 La méthode de Falchi	89
4.2.2 Exploitation de la cartographie nocturne aérienne	90
5. ÉTAT DES CONNAISSANCES DES EFFETS DE L'ÉCLAIRAGE SUR LA BIODIVERSITÉ RÉUNIONNAISE	93
5.1 CONNAISSANCES PAR ESPÈCES	93
5.1.1 Les oiseaux marins	94
5.1.2 Les tortues marines	100
5.1.3 Les microchiroptères	102
5.1.4 Perspectives	103
5.2 SYNTHÈSE DES EFFETS IDENTIFIÉS DE L'ÉCLAIRAGE ARTIFICIEL SUR LES ESPÈCES RETENUES	104
5.2.1 Effet répulsif et fragmentant	104
5.2.2 Effet attractif et désorientant	105
6. DISPOSITIFS RÉGLEMENTAIRES, OUTILS ET TECHNIQUES MOBILISABLES POUR AMÉLIORER LA PRISE EN COMPTE DE L'ENJEU BIODIVERSITÉ DANS LA PLANIFICATION ET L'ENTRETIEN DE L'ÉCLAIRAGE	107
6.1 DISPOSITIFS RÉGLEMENTAIRES.....	107
6.1.1 Les lois issues du Grenelle de l'Environnement	107
6.1.2 Décret n° 2011-831 du 12 juillet 2011 relatif à la prévention et à la limitation des nuisances lumineuses	108
6.1.3 Décret n° 2012-118 du 30 janvier 2012 relatif à la publicité extérieure, aux enseignes et aux pré-enseignes	110
6.1.4 Arrêté du 25 janvier 2013 relatif à l'éclairage nocturne des bâtiments non résidentiels afin de limiter les nuisances lumineuses et les consommations d'énergie	113
6.1.5 La loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages du 8 août 2016	114
6.1.6 Les règlements locaux de publicité (RLP)	115
6.1.7 La réglementation de protection stricte des espèces sauvages	116
6.1.8 La réglementation du Parc National de La Réunion	117
6.1.9 La réglementation de la Réserve Nationale Marine de La Réunion	118

6.1.10 Le Plan Local d'Urbanisme (PLU)	120
6.1.11 Les Autorisations d'Occupation Temporaire (AOT).....	122
6.1.12 Pour information : La loi de transition énergétique Les Plans Climat Air Énergie Territoriaux (PCAET)	123
6.1.13 Les Certificats d'Économie d'Énergie (CEE)	123
6.1.14 Contrat de performance énergétique (CPE)	125
6.1.15 Rappel : les responsabilités du maire vis-à-vis de l'éclairage public	127
6.2 DISPOSITIFS NON RÉGLEMENTAIRES	128
6.2.1 La Trame Verte et Bleue à La Réunion (TVB)	128
6.2.2 La charte du Parc National de La Réunion	129
6.2.3 La Réserve Internationale du Ciel Etoilé (RICE)	131
6.2.4 Les labels en lien avec la préservation du ciel nocturne et de la biodiversité	132
6.2.5 Démarche menée à La Réunion en faveur des Pétrels : les Nuits sans lumière	133
6.3 DISPOSITIFS TECHNIQUES OU FINANCIERS.....	135
6.3.1 Les normes en lien avec l'éclairage extérieur nocturne	135
6.3.2 La gouvernance et les aides à l'éclairage public	136
7. CONCLUSION.....	139
8. ANNEXES.....	141
8.1 ANNEXE 1 : BIBLIOGRAPHIE	141
8.1.1 Les stages réalisés dans les structures locales de protection des espèces sauvages et des espaces naturels	141
8.1.2 Guides techniques et documents de sensibilisation	141
8.1.3 Les thèses d'universitaires abordant les questions d'éclairages	142
8.1.4 Les Plans d'Actions	142
8.1.5 Les articles scientifiques et synthèses bibliographiques	142
8.1.6 Partie énergie/éclairage	143
8.2 ANNEXE 2 : GLOSSAIRE.....	144
8.3 ANNEXE 3 : DÉCRET N° 2011-831 DU 12 JUILLET 2011 RELATIF À LA PRÉVENTION ET À LA LIMITATION DES NUISANCES LUMINEUSES.....	144
8.4 ANNEXE 4 : ARRÊTÉ MUNICIPAL PRIS PAR LA COMMUNE CILAOS ET ENCADRANT LES EXTINCTIONS LUMINEUSES PENDANT LES NSL 2016	147



1. RAPPEL DU CONTEXTE ET DES OBJECTIFS DE L'ÉTUDE



Vue sur Saint-Denis depuis le quartier Bellepierre vers 19h30 (Samuel Busson)

L'île de La Réunion, département français situé dans l'Océan Indien, est une île volcanique aux reliefs marqués (plus de 3 000 mètres d'altitude au sommet du Piton des Neiges). Sa population, d'environ 850 000 habitants, se concentre essentiellement sur sa frange littorale.

De par sa situation tropicale, son caractère insulaire, son relatif éloignement du continent Africain, et la grande variété de climats locaux régis notamment par les reliefs, l'orientation aux vents dominants et l'altitude, La Réunion accueille une biodiversité riche et originale et fait partie d'un des 34 hotspots de biodiversité mondiale.

Parmi les espèces composant cette biodiversité, comme ailleurs sur Terre, un certain nombre est actif et/ou réalise une partie de son cycle de vie en conditions nocturnes. Ces conditions sont notamment caractérisées par une obscurité modulée naturellement par le cycle lunaire et la lueur des étoiles.

Or, la présence humaine sur un territoire génère un certain nombre de pressions sur les milieux naturels et les espèces qu'ils accueillent : en plus de l'artificialisation et de l'imperméabilisation des sols, de la fragmentation des habitats naturels, de l'uniformisation des paysages, elle altère également les conditions d'obscurité naturelle évoquées précédemment par l'incursion nocturne de sources de lumières artificielles.

De nombreux travaux scientifiques ont montré que cette lumière artificielle impacte un nombre important d'espèces et de fonctions écologiques. A La Réunion, plusieurs espèces animales emblématiques voient ainsi leur cycle de vie fortement affecté, avec un effet suspecté ou constaté sur leurs populations. Des acteurs locaux institutionnels et associatifs sont ainsi impliqués dans des programmes de recherche et d'actions visant à préserver ces espèces, et travaillent de fait sur la question de la pollution lumineuse.

Dans ce contexte, et en complément des actions déjà portées sur le territoire, la Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de la Réunion (dont une des missions est d'assurer la protection de ces espèces à enjeux) a missionné le Cerema Méditerranée afin qu'il réalise les missions suivantes :

- réaliser une synthèse bibliographique sur la thématique « éclairage, aménagement et biodiversité » contextualisée à La Réunion ;
- mener un diagnostic de terrain sur les choix techniques d'éclairage et d'aménagement actuels, les acteurs concernés par la thématique citée ci-dessus, et la spatialisation des enjeux.

Le document présent vise à rendre compte de ce recueil d'informations techniques, scientifiques, réglementaires et de terrain. Il est à noter qu'il ne traite pas des effets de l'éclairage artificiel sur l'homme, effets par ailleurs non négligeables et qui font l'objet de recherches médicales et sociologiques de plus en plus nombreuses.

L'objectif de cette première phase est de rassembler les connaissances nécessaires pour produire ensuite des guides/ fiches techniques et méthodes de prise en compte des espèces nocturnes dans les aménagements et la planification.

N.B : Les sources bibliographiques utilisées dans l'élaboration de ce rapport pourront être reprises ou paraphrasées pour illustrer un point important ; la liste des références est par ailleurs établie en fin de document (8.1 Annexe 1 - page 141).

Définition de la pollution lumineuse

Kobler (2002) cité dans la synthèse bibliographique de Sibley (2008) donne une définition opérationnelle : « La pollution lumineuse est le rayonnement lumineux infrarouge, ultraviolet et visible émis à l'extérieur ou vers l'extérieur, et qui par sa direction, intensité ou qualité, peut avoir un effet nuisible ou incommodant sur l'homme, sur le paysage ou les écosystèmes ».

Actualité 2016

La loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages du 8 août 2016 reconnaît l'importance de la protection de l'environnement nocturne en modifiant le Code de l'environnement : L110-2 du code de l'environnement : « (...) Il est du devoir de chacun de veiller à la sauvegarde et de contribuer à la protection de l'environnement, y compris nocturne (...). »

2. ÉTAT DES CONNAISSANCES DES EFFETS DE L'ÉCLAIRAGE ARTIFICIEL SUR LA BIODIVERSITÉ

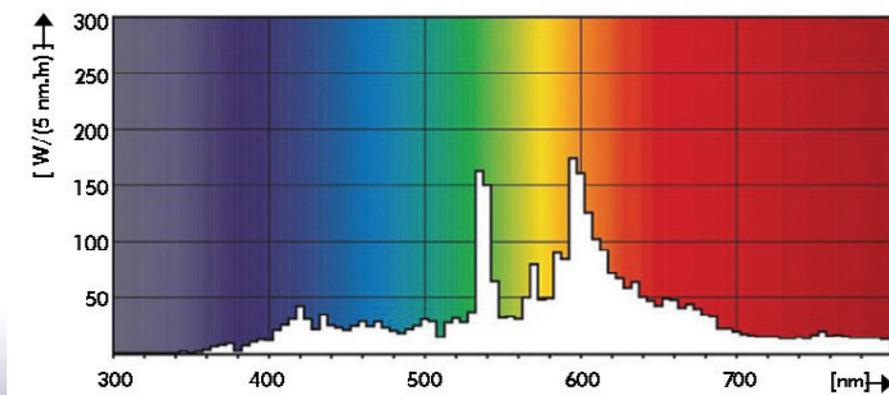
Seront abordés dans ce chapitre les effets généraux de l'éclairage nocturne sur la biodiversité. Seront également très rapidement évoqués ses effets sur l'observation astronomique, l'Île de La Réunion étant dotée d'un observatoire (Les Makes).

Pour mémoire, la lumière est notamment caractérisée par une distribution spectrale (émission à différentes longueurs d'onde, unité = nanomètre), perçue comme une « couleur ». La couleur perçue est cependant la résultante d'une somme d'émissions à différentes longueurs d'onde, et fortement influencée par sa composante dominante. Le spectre du visible de l'homme se situe entre le violet et le rouge. Certaines espèces animales et végétales sont également sensibles à l'ultra-violet (dont de nombreux invertébrés, certains oiseaux, reptiles, amphibiens, poissons et mammifères¹) et/ou à l'infra-rouge (plantes et certains serpents²).

LE SPECTRE LUMINEUX (MEB-ANPCEN - 2015)	
Longueur d'ondes (nm)	
Ultra Violet	< 400
Violet	400 - 420
Bleu	420 - 500
Vert	500 - 575
Jaune	575 - 585
Orange	585 - 605
Rouge	605 - 700
Infra Rouge	> 700

Ainsi, une lampe produisant une lumière de couleur perçue comme « blanc chaud » est ici la résultante d'émissions du violet au rouge, avec des pics d'émission autour du vert et du orange.

SPECTRE D'UNE LAMPE CÉRAMIQUE À IODURES MÉTALLIQUES DE COULEUR BLANC CHAUD



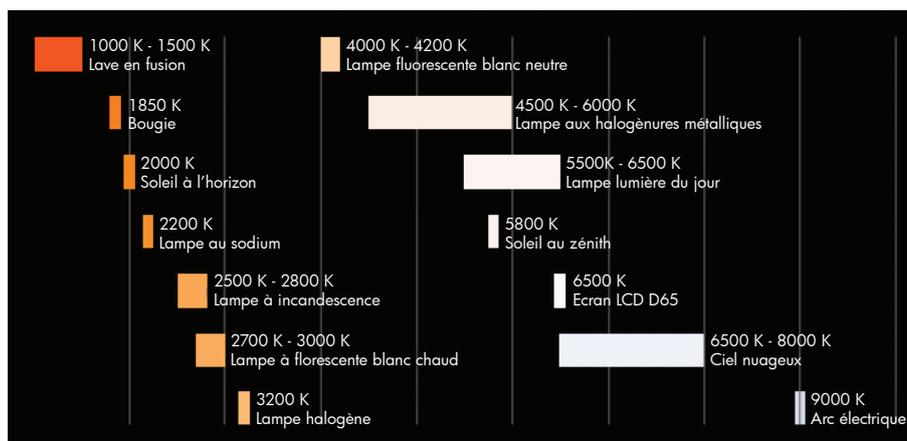
Source : www.lighting.philips.fr

1. Douglas R.H, Jeffery G., 2014 : The spectral transmission of ocular media suggests ultra-violet sensitivity is widespread among mammals, *Proceeding of the Royal Society B*, 7 april 2014.

2. Julius D. and al., 2010, Molecular basis of infrared detection by snakes, *Nature* n°464.

Par convention, la température de couleur d'une source lumineuse est dite « chaude » en deçà d'une limite de 3 000 K (kelvin) et « froide » au-dessus de cette limite théorique (exemple : LED 5 000 K).

CLASSIFICATION THÉORIQUE DES TEMPÉRATURES DE COULEUR DES SOURCES LUMINEUSES



Source : Wikipedia

2.1 RAPPEL DES EFFETS GÉNÉRAUX SUR LA BIODIVERSITÉ

Depuis plusieurs dizaines d'années, de nombreuses études et publications s'intéressent à l'impact de l'éclairage artificiel sur la biodiversité. Certains événements ont interpellé le grand public, les scientifiques et naturalistes, comme la mise en lumière en 2002 d'un pont reliant la Suède et le Danemark, qui a provoqué la mort de plusieurs milliers d'oiseaux au début des années 2000, les collisions fréquentes d'oiseaux migrants sur les buildings de New-York³, ou encore le cas de bébés tortues marines se dirigeant vers un éclairage à terre plutôt que de rejoindre la mer.

Le Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN) a produit une synthèse bibliographique⁴ en 2008 qui rappelait les différents effets de la lumière artificielle sur la biodiversité, en la détaillant par groupes taxonomiques. La structure générale et une version synthétisée de ce travail ont été reprises ci-après, et complétées du travail mené en 2015 par la Mission Économie de la Biodiversité (MEB) et l'Association Nationale pour la Protection du Ciel et de l'Environnement Nocturne (ANPCEN)⁵. Cette « synthèse de synthèses » ne cite donc pas tous les auteurs producteurs des informations fournies ici. Il conviendra de se référer aux documents correspondants pour les références des informations données ci-après.

Ces éléments sont enfin complétés au fur et à mesure d'autres références récoltées au cours de la présente étude bibliographique. Dans ce cas, l'auteur et l'année de l'article ou du document sont cités entre parenthèse et l'étude est citée dans la liste des références en fin de document.

3. Estimation de 90000 oiseaux tués chaque année par ces collisions : <http://www.nycadubon.org/lights-out-new-york>.

4. Sibley J-P. (Août 2008). Impact de la pollution lumineuse sur la biodiversité, Synthèse bibliographique. Rapport MNHN-SPN/ MEEDDAT n°8.

5. Mission Économie de la Biodiversité – ANPCEN. (2015). Éclairage du 21^{ème} siècle et biodiversité - Pour une meilleure prise en compte des externalités de l'éclairage extérieur sur notre environnement.

2.2 GÉNÉRALITÉS SUR LES SYSTÈMES VISUELS DES VERTÉBRÉS

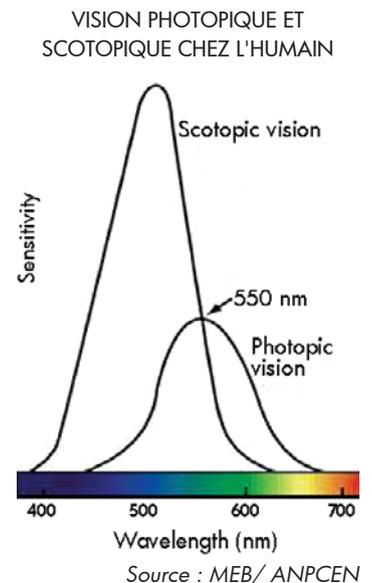
Sont repris ici (et complétés le cas échéant) des éléments produits dans le rapport MEB/ANPCEN.

2.2.1 Vision photopique et scotopique et intensité lumineuse

Les vertébrés, dont l'Homme, mobilisent deux « types » de vision en fonction de la luminosité ambiante : la vision photopique en conditions diurnes, et la vision scotopique en conditions nocturnes. La plage d'adaptation intermédiaire de ces deux visions est appelée vision méso-pique. Les photorécepteurs mobilisés dans l'un ou l'autre cas (cônes pour la vision photopique, bâtonnets pour la vision scotopique) peuvent être sensibles à des longueurs d'ondes différentes, et les seuils de mobilisations des uns ou des autres varient en fonction des espèces.

Chez l'homme, la vision photopique est activée au-delà d'une luminance de 3 candelas par m², et la vision scotopique en deçà de 0,001 candelas par m², pour une réponse aux longueurs d'onde présentée sur le schéma ci-contre.

Enfin, l'intensité lumineuse nécessaire à la vision dépend notamment du nombre de cellules photoréceptrices dont dispose l'individu considéré. Certaines espèces sont ainsi capables de voir à des niveaux d'éclairage bien inférieurs à ceux nécessaires à l'homme.



2.2.2 Adaptation aux faibles conditions d'éclairage et éblouissement

Chez les vertébrés, ce sont les photorécepteurs présents dans la rétine qui réagissent aux fluctuations de la lumière. Chez les mammifères, les cônes sensibles à la couleur ne sont fonctionnels qu'à partir d'un seuil variable selon les espèces ; la perception des couleurs est ainsi dégradée voire quasi-inexistante pour certaines espèces - comme l'homme - dans des conditions de très faibles éclairage (scotopique).

Certaines espèces aux mœurs nocturnes ou vivant dans des habitats peu éclairés disposent d'adaptations aux conditions de faible éclairage, comme les chats dont la pupille peut se dilater très fortement et dont les yeux sont dotés d'une membrane réfléchissante derrière la rétine. Les oiseaux nocturnes comme les chouettes et les hiboux disposent d'une pupille ronde, large et dilatée pour capter un maximum de luminosité durant la nuit. Chez les poissons, la position des photorécepteurs dans la rétine varie en fonction des intensités lumineuses.

Les mammifères nocturnes présentent également une concentration beaucoup plus importante en bâtonnets dans la fovéa (zone centrale) de la rétine que les êtres humains.

Une des conséquences de ces adaptations au faible éclairage est un risque d'éblouissement en cas de flash ou de passage en zone fortement éclairée, éblouissement pouvant provoquer la paralysie temporaire chez certaines espèces.

2.2.3 Sensibilités spectrales

Les sensibilités spectrales (= sensibilité à telle ou telle longueur d'onde, auxquelles correspondent des couleurs) varient d'une espèce à l'autre, ce qui signifie que la perception d'une longueur d'onde variera selon l'espèce, et donc que l'effet du dispositif lumineux émettant cette longueur d'onde variera lui aussi.

Pour illustration, les poissons, reptiles et oiseaux sont tétrachromates, ce qui signifie que les photorécepteurs présents dans leur rétine sont sensibles à 4 types de longueurs d'onde, ce qui leur permet de percevoir 4 couleurs fondamentales.

Les primates sont trichromates, leurs cônes étant sensibles au bleu, au vert et au rouge. L'homme ne perçoit les couleurs qu'en journée (hors éclairage artificiel la nuit), les cônes étant activés uniquement en conditions d'éclairage diurne, à la différence de certains geckos et papillons nocturnes qui perçoivent des couleurs même la nuit⁶.

La majorité des mammifères restant est dichromate.

Comme vu plus tôt, chez les reptiles, les oiseaux et certains mammifères, existe une sensibilité (dans la vision) aux UV qu'on ne trouve pas chez l'humain. Certaines espèces animales sont également capables de détecter les infrarouges.

2.2.4 Bilan sur les systèmes visuels des vertébrés

Chaque espèce dispose d'un système visuel qui lui est propre, en fonction notamment du type et du nombre de photorécepteurs dont il dispose, de la configuration de son ou de ses organes de vision, etc.

Il est donc inadapté de se baser sur la vision humaine pour comprendre les effets écologiques de l'éclairage artificiel, ce dernier ayant été mis en place pour répondre aux besoins humains et n'ayant ainsi pas pris en compte son impact potentiel sur les autres organismes vivants.

2.3 EFFETS PAR TAXONS

Les principaux effets connus de l'éclairage artificiel sur différents taxons sont synthétisés ci-après, par groupes taxonomiques et par type d'effet ou fonction affectée. Le nom de l'auteur principal de l'article scientifique (ou de la synthèse bibliographique) et l'année de la publication est rappelé, et les références complètes sont données en Annexe 8.1 - page 141.

Les taxons/ groupes d'êtres vivants étudiés ici sont les suivants :

- mammifères, dont chiroptères, mammifères terrestres non volants et mammifères marins ;
- oiseaux ;
- reptiles dont tortues marines, autres reptiles, et amphibiens ;
- insectes ;
- poissons et invertébrés aquatiques ;
- flore chlorophyllienne.

6. Guide « Trop d'éclairage nuit », FRAPNA, Juillet 2013.

Les fonctions écologiques et étapes importantes du cycle de vie des individus considérés, pour lesquelles l'incidence de l'éclairage artificiel est évaluée dans la bibliographie consultée, sont les suivantes (toutes n'étant pas évaluées pour chaque taxon/ groupe d'êtres vivants) :

- reproduction ;
- croissance/ développement ;
- hibernation ;
- repos ;
- déplacement/ orientation/ phototaxie ;
- alimentation ;
- production et régulation hormonale ;
- exposition à la prédation/ aux parasites ;
- niveau d'activité général à proximité des sources lumineuses ;
- constats généraux (cette dernière catégorie comprenant des incidences sur le comportement général et pas spécifiques à une fonction ou un comportement de l'individu considéré).

L'information qui en ressort étant assez dense, un tableau de synthèse est proposé à l'issue de ce recueil, qui ne prétend cependant pas à l'exhaustivité. La littérature scientifique sur cette thématique est en effet extrêmement fournie et alimentée de manière continue.

Le site Internet <http://nuitfrance.fr/> comprend de très nombreuses ressources relatives à la thématique de la nuit, dont la pollution lumineuse, pour ceux qui souhaiteraient aller plus loin sur le sujet.

2.3.1 Effet de l'éclairage sur les mammifères

Chiroptères

Reproduction :

- perturbation sur les colonies de reproduction (Siblet, 2008) ;
- toutes les espèces sont susceptibles d'être affectées par la diminution des zones non éclairées, nécessaires aux sites de reproduction et d'élevage des jeunes (Azam et al., 2016).

Hibernation :

- perturbation sur les gîtes d'hibernation (Siblet, 2008).

Repos :

- perturbation sur les reposoirs (Siblet, 2008) ;
- une première série d'études indique que l'effet sur le cycle circadien de chauves-souris d'impulsions lumineuses de différentes longueurs d'onde sur un gîte de repos varie dans le temps : les lumières vertes (520 nm) et bleues (480 nm) sont les plus impactantes (surtout vertes) en début de période de repos, quand les lumières violettes (430 nm) et jaunes (580 nm) sont quasiment sans effet ; plus tard, ce sont les lumières bleues et violettes qui ont le plus d'effet, quand les grandes longueurs d'onde n'en ont toujours pas. Le rouge (654 nm) et le jaune ne semblent jamais avoir d'effet (Musters et al., 2009).

Déplacements/ orientation/ phototaxie :

- effet de barrière visuelle contribuant à la fragmentation du paysage nocturne (Siblet, 2008) ;
- certaines espèces sont lucifuges = qui fuient les zones éclairées artificiellement (Petits et Grands Rhinolophes), d'autres qui s'adaptent à l'éclairage (Pipistrelles) : l'éclairage favorise les secondes qui voient leurs proies (insectes) concentrées près des sources lumineuses (MEB-ANPCEN, 2015) ;



Grand Murin en vol
et Grand Rhinolophe
Source : plan-actions-chiropteres.fr

- les voiries fortement éclairées constitueraient une barrière difficilement franchissable même pour des espèces tolérantes à la lumière, allongeant les temps de déplacements et fragmentant le territoire (MEB-ANPCEN, 2015) ;
- la sortie de gîte est perturbée par l'éclairage artificiel, la gêne étant fonction de l'intensité de l'éclairage ; à faible intensité, les lumières rouges semblent sans effet sur les chauves-souris (Musters et al., 2009) ;
- des niveaux d'éclairages faiblement supérieurs à un clair de lune semblent perturber le comportement migratoire et l'utilisation des corridors écologiques (Musters et al., 2009) ;
- on observe à l'échelle du paysage que l'éclairage affecte les espèces à vol lent, mais également les déplacements des espèces à vol rapide, notamment les franchissements d'obstacles (Azam et al., 2016) ;
- après ajout de nouvelles lampes Sodium Haute Pression (SHP), réduction des déplacements du petit Rhinolophe ; pas d'habituation constatée à court terme (Stone et al., 2009) ;
- beaucoup de chiroptères choisiraient des routes alternatives à celle nouvellement équipée en SHP (Stone et al., 2009).

Alimentation :

- l'éclairage interfère avec l'activité alimentaire : modification de la distribution des proies et de la compétition entre espèces (Siblet, 2008) ;
- favorise les espèces qui s'adaptent à l'éclairage (exemple : Pipistrelles) qui voient leurs proies (insectes) concentrées près des sources lumineuses (MEB-ANPCEN, 2015) ;
- exploitation de routes éclairées pour la chasse par certaines espèces, l'effet attractif des lampes sur les insectes-proies semblant jouer un rôle important (Musters et al., 2009) ;
- la lumière artificielle (issue ici de lampes sodium haute pression - SHP), même de faible intensité, altère le comportement de recherche alimentaire d'une espèce de Roussette - macro-chiroptère frugivore - *Carollia Sowellii*, en provoquant un effet répulsif sur celle-ci et en réduisant de fait ses déplacements et ses prises alimentaires, affectant son alimentation et son territoire vital (et la dissémination des graines à laquelle elle participe par la même occasion) (Lewanzik, Voigt, 2014) ;
- les espèces à vol rapide (Pipistrelles, Noctules) profitent de l'éclairage qui concentre leurs proies (insectes) et rend prévisibles les lieux de chasse (Azam et al., 2016) ;
- l'effet négatif de l'éclairage artificiel à l'échelle du territoire sur les micro-chiroptères insectivores pourrait s'expliquer par l'effet puits qu'il engendre (attirance et piégeage jusqu'à des distances importantes) sur les populations d'insectes, en provoquant un déclin important (Azam et al., 2016) ;
- (Stone et al., 2009) cite d'autres études qui démontrent que des chauves-souris à vol rapide sont attirées par les lumières blanches qui concentrent les insectes (L'article ne précise cependant pas la technologie employée et notamment la composition spectrale qui produit cette lumière blanche) : il faut donc avoir une approche par espèce en termes de recommandations ;
- la concentration des insectes sur un même lieu peut indirectement conduire à une exploitation privilégiée de la ressource par certaines espèces (de chiroptères) au détriment de la disponibilité en insectes pour les autres, à la fois d'un point de vue quantitatif (détourne ou détruit une partie de la biomasse disponible) mais également qualitatif (Cerema, 2016) ;



Carollia Sowellii
Source : plan-actions-chiropteres.fr



Pipistrelle - Source : onf.fr

- certaines espèces de chiroptères bénéficient de l'effet attractif des lumières blanches sur les insectes (Stone EL et. al, 2015), en particulier celles contenant des UV, comme les lampes à Vapeur de Mercure qui attirent plus d'insectes que les lampes au Sodium Haute Pression (Barghini 2012 cité par Stone EL et. Al, 2015).

Production et régulation hormonale :

- la production de mélatonine est fortement affectée par la lumière bleue chez les mammifères (Musters et al., 2009) ;
- la régulation hormonale est perturbée par la modification de la longueur du jour au moyen d'éclairages artificiels chez les mammifères, en partie à cause des perturbations induites sur la production de mélatonine, produite pendant la nuit en conditions naturelle (Musters et al., 2009).

Exposition à la prédation :

- exposition à la prédation près des points lumineux (MEB-ANPCEN, 2015) ;
- les espèces à vol lent (Rhinolophes et Murins) semblent les plus affectées par l'éclairage artificiel, à priori par augmentation de la perception du risque de prédation ; l'éclairage a donc pour conséquence une perte et une fragmentation des habitats (Azam et al., 2016).

Niveau d'activité générale à proximité des sources lumineuses :

- effet différent des LEDs (remarque : les différentes technologies sont définies au paragraphe 2.4.2 Technologies de lampes utilisées en éclairage extérieur - page 37) sur le niveau d'activité des chauves-souris : réduction de celui-ci chez les espèces à vols lents (Petit Rhinolophes et Murins), sans effets sur les espèces à vols rapides (en zones favorables), et altérant donc la compétition inter-spécifique (MEB-ANPCEN, 2015) ;
- pas de réponse uniforme aux différentes longueurs d'ondes (MEB-ANPCEN, 2015) ;
- pas d'effet du bruit ni du lampadaire éteint sur le comportement des Petits Rhinolophes (Stone et al., 2009) ;
- activité de la Pipistrelle commune, de la Pipistrelle pygmée et des Noctules sp. significativement plus importante à proximité des lampes à Iodures Métalliques (IM) qu'à côté des lampes au Sodium Basse Pression (SBP) (Stone EL et. al, 2015)
- activité et densité supérieure de chiroptères à proximité des lampes à Vapeur de Mercure (VM), qui émettent une lumière blanche, en comparaison avec des lampes oranges ou en l'absence de lampes (Blake 1994 cité par Stone EL et. Al, 2015) ;
- les espèces évitant l'éclairage artificiel de manière générale (Murin et Rhinolophe) ne semble pas significativement être moins affectées par les lampes au Sodium Basse Pression que par les lampes à Iodure Métalliques : dans l'étude menée, la richesse spécifique et les espèces contactées étaient comparable dans les deux situations (Barghini, 2012).

Constats généraux :

- constat que certaines lampes émettent des ultrasons dans les gammes utilisées par certaines chauves-souris (Musters et al., 2009) ;
- l'éclairage retarde le début de l'activité nocturne des chauves-souris (Stone et al., 2009) ;



Grand Rhinolophe
Source : gcprovence.org

- la perturbation induite par l'éclairage artificiel sur un territoire rural ou périurbain en France métropolitaine, sur les 4 espèces de chiroptères les plus communes (Pipistrelle commune, Pipistrelle de Kuhl, Noctule de Leisler et Sérotine commune), est supérieure à celle induite par l'imperméabilisation des sols, mais reste inférieure à celle induite par des pratiques agricoles intensives (caractérisées par des paysages uniformes et dépourvus d'éléments de connexion - haies notamment - monocultures, utilisation d'engrais et de pesticides chimiques) (Azam et al., 2016) ;
- quand bien même à l'échelle très locale (le lampadaire), on observe que certaines espèces à vol rapide sont favorisées, à l'échelle d'un territoire, même celles-ci sont affectées négativement : l'effet de la lumière sur les chiroptères varie donc en fonction de l'échelle considérée (le lampadaire a surtout un effet positif sur l'alimentation de certaines espèces par concentration de la ressource alimentaire ; à plus large échelle, ce sont les déplacements et les éventuels sites de reproductions qui sont affectés négativement) ; de fait, les espèces à phototaxie⁷ négative (constatée à l'échelle du point lumineux) sont susceptibles d'être encore plus affectées à l'échelle du territoire par la lumière artificielle (Azam et al., 2016).

Bilan

Effets identifiés dans le cadre de cette étude des différentes longueurs d'onde sur les chiroptères : (X : effet constaté ; O : pas ou peu d'effet identifié ; ? : pas d'information).

UV (<400 nm)	Violet (400-420 nm)	Bleu (420-500 nm)	Vert (500-575 nm)	Jaune (575-585 nm)	Orange (585-605 nm)	Rouge (605-700 nm)	Infra-Rouge (>700 nm)
X	X	X	X	O	?	O	?

Effets identifiés dans le cadre de cette étude des différentes technologies d'éclairage sur les chiroptères : (X : effet constaté ; O : pas ou peu d'effet identifié ; ? : pas d'information).

Sodium Basse Pression	Sodium Haute Pression	Iodures Métalliques	Vapeur de Mercure	LED
X (espèces à vol lent)	X	X	X	X



Tangue de La Réunion et Hérisson
Source : inpn.mnhn.fr

Mammifères terrestres

Déplacements/ orientation/ phototaxie :

- constat régulier d'un évitement des zones éclairées par les mammifères terrestres (Siblet, 2008) ;
- grande variabilité inter-espèce : certaines espèces préfèrent se déplacer voire sont attirées par des lampes Sodium Haute Pression (550 à 650 nm), quand d'autres les évitent, quand enfin des dernières ne sont pas affectées (Musters et al., 2009).

Alimentation :

- les micro-mammifères se nourrissent moins en zones éclairées (Siblet, 2008) ;
- modification du régime alimentaire des hérissons par changement de la composition de la faune urbaine des arthropodes, sous l'effet de l'éclairage (Siblet, 2008) ;

7. La phototaxie caractérise le comportement d'attraction ou de répulsion d'une espèce par la lumière. Elle est qualifiée de positive si l'espèce est attirée par la source lumineuse, et de négative si elle la repousse.

- les rongeurs voient leur activité et leur comportement de recherche alimentaire affectés par l'éclairage artificiel, en laboratoire et en conditions réelles, présentant cependant des différences entre les espèces. Ce constat concorde avec l'observation de l'effet des variations de l'intensité de l'éclairage lunaire (Musters et al., 2009) ;
- modification des comportements de chasse : meilleure détection des proies (MEB-ANPCEN, 2015).

Production et régulation hormonale :

- la production de mélatonine est fortement affectée par la lumière bleue chez les mammifères ; la régulation hormonale est plus généralement perturbée par la modification de la longueur du jour au moyen d'éclairages artificiels chez les mammifères, en partie à cause des perturbations induites sur la production de mélatonine, produite pendant la nuit en conditions naturelles (Musters et al., 2009) ;
- la production de mélatonine des mammifères est globalement affectée par l'éclairage artificiel, ce qui peut avoir des effets sur le pelage et la reproduction (MEB-ANPCEN, 2015).

Exposition à la prédation :

- plus forte détectabilité par les prédateurs pouvant induire une phototaxie négative (MEB-ANPCEN, 2015).

Niveau d'activité générale à proximité des sources lumineuses :

- phénomène d'éblouissement si éclairage vif, provoquant paralysie et risque de collision avec les véhicules automobiles (MEB-ANPCEN, 2015).

Constats généraux :

- primates trichromates, sensibles au bleu, vert et rouge ; majorité des autres mammifères dichromates, à des longueurs d'ondes variables (MEB-ANPCEN, 2015).

Bilan

Effets identifiés dans le cadre de cette étude des différentes longueurs d'onde sur les mammifères terrestres : (X : effet constaté ; O : pas ou peu d'effet identifié ; ? : pas d'information).

UV (<400 nm)	Violet (400-420 nm)	Bleu (420-500 nm)	Vert (500-575 nm)	Jaune (575-585 nm)	Orange (585-605 nm)	Rouge (605-700 nm)	Infra-Rouge (>700 nm)
?	?	X	?	?	?	?	?

Effets identifiés dans le cadre de cette étude des différentes technologies d'éclairage sur les mammifères terrestres : (X : effet constaté ; O : pas ou peu d'effet identifié ; ? : pas d'information).

Sodium Basse Pression	Sodium Haute Pression	Iodures Métalliques	Vapeur de Mercure	LED
X	?	?	?	?



Phoque veau marin
Source : conservation-nature.fr

Mammifères marins

Alimentation :

- effet indirect : rassemblements de phoques veaux-marins par concentration de leurs proies (saumons juvéniles) aux abords de points lumineux lors de la dévalaison (Siblet, 2008).

Bilan

Effets identifiés dans le cadre de cette étude des différentes longueurs d'onde sur les mammifères marins : (X : effet constaté ; O : pas ou peu d'effet identifié ; ? : pas d'information).

UV (<400 nm)	Violet (400-420 nm)	Bleu (420-500 nm)	Vert (500-575 nm)	Jaune (575-585 nm)	Orange (585-605 nm)	Rouge (605-700 nm)	Infra-Rouge (>700 nm)
?	?	?	?	?	?	?	?

Effets identifiés dans le cadre de cette étude des différentes technologies d'éclairage sur les mammifères marins : (X : effet constaté ; O : pas ou peu d'effet identifié ; ? : pas d'information).

Sodium Basse Pression	Sodium Haute Pression	Iodures Métalliques	Vapeur de Mercure	LED
?	?	?	?	?

2.3.2 Effet de l'éclairage sur les oiseaux



Barge à queue noire - Source : LPO



Pétrel de Barau - Source : oiseaux.net

Reproduction :

- phénologie de la reproduction affectée pour des espèces commensales de l'homme (dont moineau) : plusieurs nichées par an, par l'effet combiné de l'éclairage et de la chaleur fournis par l'éclairage ; Barge à queue noire : plus faible densité de nids à proximité de routes éclairées, jusqu'à 300m de ces routes (Siblet, 2008) ;
- l'exposition d'oiseaux en laboratoire à une source de lumière artificielle pendant l'hiver provoque une reproduction précoce (Musters et al., 2009) ;
- allongement de la période d'activité chez le merle noir en condition d'éclairage artificiel, pouvant être à l'origine de perturbation de la fonction reproductrice (MEB-ANPCEN, 2015).

Déplacements/ orientation/ phototaxie :

- réaction des Pétrels de Barau et Pétrels Noirs aux spectres lumineux (d'après Salamolard et al., 2001) : très forte attirance par les lampes à vapeurs de mercure, forte attirance par les lampes à Iodure métallique ; plus limitée pour les lampes à Sodium haute et basse pression ; peu d'attraction par les lumières rouges (Minatchy, 2004) ;
- les échouages des jeunes Pétrels de Barau se concentrent en dehors de la période de pleine lune, et de préférence à la nouvelle lune entre le 1er avril et le 15 mai (Minatchy, 2004). C'est l'augmentation de la lumière naturelle lors de la pleine lune qui modérerait l'impact de la pollution lumineuse (information LIFE+Pétrels - Patrick Pinet - non publié officiellement) ;
- éblouissement par les phares de voitures provoquant des collisions (rapaces nocturnes et engoulevants) (Siblet, 2008) ;
- en déplacement migratoire, fréquemment nocturne, les édifices éclairés provoquent une mortalité par collision, épuisement ou prédation, en particulier par conditions météorologiques défavorables (mauvaise visibilité) ; la visibilité des étoiles et de la lune est nécessaire pour de nombreuses espèces en migration. Les halos/ dômes lumineux surplombant les villes piègent et désorientent de nombreux oiseaux migrateurs ; les faisceaux lumineux, même de faible puissance, perturbent fortement les routes de vol (Siblet, 2008) ;

- en période de nidification, attirance par les éclairages des adultes et juvéniles de Procellariiformes (dont Pétrel de Barau et Pétrel Noir), ce qui les empêche de regagner leur nid ou de trouver leur direction. (Siblet, 2008) ;
- les oiseaux sont globalement attirés par l'éclairage artificiel, ce qui peut provoquer de la mortalité, cependant fortement dépendante des conditions météorologiques. La littérature sur la lumière colorée n'est pas claire : le rouge et le bleu semblent moins attractifs que le blanc, mais une étude montre que les oiseaux sont plus fortement attirés par le blanc et le rouge que le vert et le bleu, même si cette étude ne fait pas de distinction claire entre la phototaxie et la désorientation (Musters et al., 2009) ;
- l'orientation ne semble pas affectée par le blanc et le violet (424 et 443 nm), le vert (502 et 510 nm) et le jaune (565 nm), mais affectée par l'ultra-violet (373 nm), le jaune (590 nm), l'orange (630 nm) et le rouge (660 nm) ; il semble également y avoir une interaction avec l'intensité lumineuse qui, quand elle est importante, désoriente les oiseaux même aux basses longueurs d'ondes (Musters et al., 2009) ;
- la désorientation provoquée par l'éclairage artificiel pourrait également être dépendante de l'âge de l'individu considéré (Musters et al., 2009) ;
- certaines études de terrain, qui ne distinguent pas clairement la phototaxie et la désorientation, ont trouvé une désorientation plus importante en lumière rouge entre 600 et 700 nm, avec un pic à 670, qu'en lumière bleue (450 nm) et verte (530 nm) (Musters et al., 2009).

Alimentation :

- l'éclairage artificiel permet d'allonger la période de nourrissage de limicoles, induisant des compétitions inter-spécifiques (MEB-ANPCEN, 2015).

Production et régulation hormonales :

- la production de mélatonine est fortement diminuée par la lumière ultra-violette (Musters et al., 2009) ;

Niveau d'activité générale à proximité des sources lumineuses :

- la lumière artificielle affecte les périodes et durées de chant journalier chez les oiseaux chanteurs (Musters et al., 2009) ;
- l'exposition d'oiseaux à une source de lumière artificielle pendant l'hiver en conditions naturelles (hors laboratoire) provoque un décalage dans la migration (Musters et al., 2009) ;
- à priori moins grande incidence des lampes à faible longueur d'onde sur les oiseaux migrateurs ; contre-exemple sur les jeunes Pétrels de Barau (MEB-ANPCEN, 2015).

Bilan

Effets identifiés dans le cadre de cette étude des différentes longueurs d'onde sur les oiseaux : (X : effet constaté ; O : pas ou peu d'effet identifié ; ? : pas d'information).

UV (<400 nm)	Violet (400-420 nm)	Bleu (420-500 nm)	Vert (500-575 nm)	Jaune (575-585 nm)	Orange (585-605 nm)	Rouge (605-700 nm)	Infra-Rouge (>700 nm)
X	?	X	X	?	X	X	?

Effets identifiés dans le cadre de cette étude des différentes technologies d'éclairage sur les oiseaux : (X : effet constaté ; O : pas ou peu d'effet identifié ; ? : pas d'information).

Sodium Basse Pression	Sodium Haute Pression	Iodures Métalliques	Vapeur de Mercure	LED
?	?	X	X	?

2.3.3 Effet de l'éclairage sur les amphibiens et reptiles



Torture Verte
Source : futura-sciences.com



Torture Caouannes ou Carette
Source : wikimedia.org

Tortues marines

Reproduction :

- la pollution lumineuse dégrade fortement la qualité des plages de ponte car elle perturbe des comportements nocturnes primordiaux, tels que le choix des sites de ponte, le retour à la mer de l'adulte et l'émergence et le départ à la mer des juvéniles (Witherington & Martin, 1996) ;
- même si elles semblent préférer les plages sombres, certaines tortues pondent néanmoins sur des plages éclairées, mais mettent ainsi en péril la survie de leur progéniture (Witherington & Martin, 1996) ;
- en Floride, l'éclairage important d'une plage a réduit drastiquement le nombre de tentatives de pontes de tortues Caouannes ; une corrélation a également été notée entre éclairage des plages et réduction des pontes pour la tortue Verte en Floride (Witherington & Martin, 1996) ;
- une expérimentation a montré un évitement par les tortues des parties de plages éclairées au moyen de lampes à vapeur de mercure, mais n'a pas pu montrer d'effet des lampes à sodium basse pression ; l'effet de la pollution lumineuse semble porter essentiellement sur la sortie de l'eau plus que sur l'abandon d'une tentative de ponte (Witherington & Martin, 1996) ;
- l'éclairage des plages réduit la surface d'habitat de ponte disponible, et reporte les tortues sur des habitats potentiellement moins favorables (Witherington & Martin, 1996) ;
- les tortues empêchées de pondre faute d'avoir trouvé un site approprié seraient susceptibles d'abandonner leurs œufs en mer (Witherington & Martin, 1996) ;
- les tortues Vertes sont perturbées par les flashes d'appareils photo et la présence d'hommes dans leur champ de vision, qui peuvent interrompre une tentative de ponte (Witherington & Martin, 1996) ;
- le dérangement par flash et présence humaine fait accélérer la tortue dans la protection et le camouflage de sa ponte, ce qui peut avoir un effet négatif sur le succès de celle-ci (Witherington & Martin, 1996) ;
- évitement des plages illuminées par les femelles adultes de tortues marines pour la ponte : concentration des pontes sur les plages sombres, avec effets sur le sexe-ratio, et surmortalités induites (Siblet, 2008) ;
- les zones de plages éclairées par des lampes Sodium Basse Pression ne semblent pas poser problème aux tortues marines souhaitant pondre, à l'inverse des zones éclairées par d'autres types de lampes qui sont évitées (Musters et. al., 2009).

Déplacements :

- les adultes (femelles) semblent moins perturbées que les juvéniles pour réaliser le trajet de retour vers la mer après avoir pondu ou tenté de pondre ; certains individus apparaissent cependant fortement perturbés, des individus de tortue verte ayant erré une grande partie d'une nuit de suivi en recherche de l'océan, d'autres s'étant dirigés vers des parkings, des routes, etc. (Witherington & Martin, 1996) ;
- l'effet perturbant de l'éclairage sur l'orientation des juvéniles lors de l'éclosion est plus important en l'absence de lune que lors de la pleine lune (Witherington & Martin, 1996) ;

- deux types de conséquences de l'éclairage artificiel sur l'orientation des juvéniles à l'éclosion sont identifiés : la désorientation (orientation erratique, changeante des individus) ou la mauvaise orientation (orientation vers la source lumineuse artificielle plutôt que vers l'océan). La mauvaise orientation est souvent provoquée par un point lumineux au loin, et la désorientation par une source lumineuse au-dessus de leur tête (Witherington & Martin, 1996) ;
- les jeunes tortues marines s'orientent vers la mer après l'éclosion, en repérant l'horizon nocturne naturellement plus clair sur mer que sur terre. En cas d'éclairage artificiel sur terre, elles sont attirées dans la mauvaise direction, ce qui provoque une forte mortalité par épuisement, prédation et déshydratation (Siblet, 2008) ;
- les jeunes tortues Luth cherchent à fuir les obstacles hauts (arbres) et se dirigent vers un horizon éclairé et plus bas (la mer) ; l'éclairage artificiel est très perturbant, moins par nuit de pleine lune (lumière plus diffuse aidant les tortues à s'orienter) (Bourgeois et. al., 2009) ;
- les jeunes tortues émergentes sont fortement attirées par les longueurs d'onde comprises entre le violet et le vert, mais sont indifférentes voire repoussées par les plus grandes longueurs d'ondes (> 530 nm) (Musters et. al., 2009) ;
- l'utilisation de filtre excluant les longueurs d'onde inférieures à 570 nm semblent réduire l'attraction des lampes pour ces jeunes tortues, mais cet effet était très dépendant de l'intensité de la source lumineuse et de la présence d'indices d'orientation (tels que des silhouettes/ ombres portées, etc.) (Musters et. al., 2009) ;
- les jeunes sont désorientées dans leur trajet vers la mer par l'éclairage artificiel, en particulier en l'absence d'obstacles à leur vue entre le point lumineux et elles-mêmes. Les adultes par contre ne semblent pas désorientées par l'éclairage artificiel (Musters et. al., 2009) ;
- les tortues émergentes sont attirées par les éclairages même une fois dans l'eau, ce qui les retarde dans leur dispersion et augmente le risque de prédation (Thums et. al., 2016) ;



Jaunes tortues Luth émergentes
Source : wordpress.com

Niveau d'activité générale à proximité des sources lumineuses :

- les femelles de tortues vertes ne semblent pas perturbées par les phares des voitures lors de leur ponte sur l'Île de La Réunion (Ciccione & Bourjea, 2006).

Bilan

Effets identifiés dans le cadre de cette étude des différentes longueurs d'onde sur les tortues marines : (X : effet constaté ; O : pas ou peu d'effet identifié ; ? : pas d'information).

UV (<400 nm)	Violet (400-420 nm)	Bleu (420-500 nm)	Vert (500-575 nm)	Jaune (575-585 nm)	Orange (585-605 nm)	Rouge (605-700 nm)	Infra-Rouge (>700 nm)
?	X	X	X	?	?	O	?

Effets identifiés dans le cadre de cette étude des différentes technologies d'éclairage sur les tortues marines : (X : effet constaté ; O : pas ou peu d'effet identifié ; ? : pas d'information).

Sodium Basse Pression	Sodium Haute Pression	Iodures Métalliques	Vapeur de Mercure	LED
O	?	?	X	?



Endormi et Geko Vert
Source : habiter-la-reunion.re

Autres reptiles

Alimentation :

- l'introduction d'éclairage nocturne est une opportunité pour les espèces se nourrissant d'invertébrés, ces derniers étant globalement dotés d'une forte phototaxie positive ; la modification des compétitions inter-spécifique (et l'augmentation du risque de prédation) tendent cependant à relativiser ce bénéfice (MEB-ANPCEN, 2015) ;
- le comportement de recherche alimentaire est modifié par l'éclairage artificiel, effet constaté également avec les changements d'éclairage naturel liés aux différentes phases de lune (Musters et. al., 2009).

Exposition à la prédation :

- l'introduction d'éclairage nocturne provoque une plus grande sensibilité aux prédateurs (MEB-ANPCEN, 2015) ;

Niveau d'activité générale à proximité des sources lumineuses :

- l'éclairage artificiel prolonge la période d'activité de nombreux reptiles à activité diurne (Musters et. al., 2009) ;
- le déclin de population de certaines espèces de reptiles californiens a été corrélé à un gradient de pollution lumineuse (Musters et. al., 2009).

Bilan

Effets identifiés dans le cadre de cette étude des différentes longueurs d'onde sur les reptiles hors tortues marines : (X : effet constaté ; O : pas ou peu d'effet identifié ; ? : pas d'information).

UV (<400 nm)	Violet (400-420 nm)	Bleu (420-500 nm)	Vert (500-575 nm)	Jaune (575-585 nm)	Orange (585-605 nm)	Rouge (605-700 nm)	Infra-Rouge (>700 nm)
?	?	?	?	?	?	?	?

Effets identifiés dans le cadre de cette étude des différentes technologies d'éclairage sur les reptiles hors tortues marines : (X : effet constaté ; O : pas ou peu d'effet identifié ; ? : pas d'information).

Sodium Basse Pression	Sodium Haute Pression	Iodures Métalliques	Vapeur de Mercure	LED
?	?	?	?	?



Crapaud Bufo Gutturalis
et Grenouille Mascareniensis
Source : ote.re

Amphibiens

Reproduction :

- suspicion d'effets limitateurs de l'éclairage sur le comportement d'accouplement des mâles de grenouilles vertes, qui vocalisent moins et se déplacent plus ; une autre étude mentionne l'arrêt des activités de reproduction de grenouilles suite à l'allumage de l'éclairage d'un stade à proximité (Siblet, 2008) ;
- en condition d'éclairage, accouplement accéléré de *Physalaemus pustulosus*, qui réduit la sélectivité dans le choix des partenaires, vraisemblablement pour réduire le risque de prédation (Siblet, 2008).

Développement :

- les larves d'amphibiens ont une croissance plus rapide et plus importante dans l'obscurité (Musters et. al., 2009).

Déplacements/ orientation/ phototaxie :

- attirance des anoures (= amphibiens sans queue au stade adulte, comprenant notamment les grenouilles et crapauds) pour les sources lumineuses artificielles (Siblet, 2008) ;

- la majorité des amphibiens est sensible aux sources d'éclairage artificiel, certaines espèces présentant une phototaxie négative, et d'autres une phototaxie positive. Au-delà de l'espèce considérée, cette phototaxie semble varier en fonction de l'intensité lumineuse, de la période de la nuit, et des longueurs d'onde de la source lumineuse (Musters et. al., 2009) ;
- une étude portant sur des anoues a montré une phototaxie pour le violet, bleu, vert, jaune, orange et rouge, la plupart des espèces ayant montré une attirance pour le bleu et le vert et une répulsion pour le violet et le rouge (Musters et. al., 2009) ;
- le phénomène de désorientation par des sources lumineuses artificielles est connu chez les tritons pour des longueurs d'onde supérieures à 500 nm. Le comportement de « homing » (capacité à retourner vers son lieu de naissance) est conservé dans une lumière à large spectre, dans le violet (400 à 450 nm), mais est perdu pour des lumières bleues (475 nm), vertes (500 nm), jaune (550 nm) et orange (600 nm) (Musters et. al., 2009) ;
- les anoues, moins mobiles que les urodèles (amphibiens conservant leur queue au stade adulte, comprenant notamment les salamandres et tritons), sont moins à même d'éviter ou de s'adapter aux changements de leur environnement (MEB-ANPCEN, 2015) ;
- les salamandres présentent a priori une phototaxie positive au stade larvaire, puis négative au stade adulte (théorie concernant ce comportement à l'âge adulte : pour éviter d'éventuels prédateurs et des conditions de lumière associées à la chaleur et à un air plus sec, pouvant mener à un dessèchement) (MEB-ANPCEN, 2015) ;
- les crapauds communs juvéniles se rassemblent sous les éclairages de rue, tout comme les tritons crêtés juvéniles lors de leur dispersion à l'automne. Pour autant, les crapauds, s'ils sont attirés par l'éclairage artificiel en période estivale, ont plutôt tendance à éviter les zones éclairées en période de migration printanière vers les sites de reproduction. Ils fuient en particulier l'éclairage blanc et vert, et semblent moins affectés par l'éclairage rouge (pic vers 600 nm) (Van Grunsven R. et. Al, 2017).



Salamandre salamandra
Source : onf.fr

Alimentation :

- apparition de compétition entre espèces d'amphibiens dans l'alimentation sous conditions d'éclairage artificiel homogènes (Siblet, 2008) ;
- crapauds et grenouilles ont tendance à s'alimenter au niveau de sources lumineuses, sans qu'on puisse déterminer si ce comportement est lié à la concentration de proies, à leur meilleure visibilité, à la phototaxie, ou à une combinaison de ces phénomènes (Musters et. al., 2009) ;
- 90 % des amphibiens sont nocturnes, où ils chassent et sont chassés ; abondance de proies en zone éclairée, attirant de nombreux anoues ; (MEB-ANPCEN, 2015) ;
- retard du départ en chasse en conditions éclairées (MEB-ANPCEN, 2015).

Production et régulation hormonales :

- la régulation hormonale est perturbée par la modification de la longueur du jour au moyen d'éclairages artificiels, en partie à cause des perturbations induites sur la production de mélatonine, produite pendant la nuit en conditions naturelles (Musters et. al., 2009) ;
- la production de mélatonine augmente naturellement la nuit chez les amphibiens comme chez d'autres vertébrés ; l'éclairage altère ce cycle et la synchronisation biologique des individus exposés à la pollution lumineuse (MEB-ANPCEN, 2015).

Exposition à la prédation :

- 90 % des amphibiens sont nocturnes, où ils chassent et sont chassés ; en conditions éclairées, la prédation accrue est sur les individus (MEB-ANPCEN, 2015).

Niveau d'activité générale à proximité des sources lumineuses :

- forte diminution des capacités visuelles après une augmentation rapide de l'intensité lumineuse, effet pouvant perdurer plusieurs heures (Siblet, 2008) ;
- phénomène d'éblouissement et de paralysie temporaire : causes probables de nombreuses percussions d'amphibiens avec des véhicules automobiles (MEB-ANPCEN, 2015) ;
- les crapauds communs sont attirés par l'éclairage et se rassemblent à proximité des lampadaires en été (Baker 1990 cité par Van Grunsven, 2016), et évitent au contraire les zones éclairées pendant la migration vers leur site de reproduction (Van Grunsven, 2016) ;
- en conditions expérimentales extérieures, en période de migration, les crapauds communs, dont le système visuel est particulièrement sensible au bleu et au vert, ont évité de traverser les portions routières éclairées au moyen d'un éclairage LED vert (spectre : pics moyens à 470nm, 540 nm et de moindre importance à 420 nm) ou d'un éclairage LED blanc (spectre : pic principal assez large de 510 nm à 710 nm et culminant à 610 nm, et pic de moindre importance à 450 nm) ; ils ont été moins affectés par un éclairage LED rouge (spectre : un seul pic de forte intensité vers 630 nm). Ils traversent normalement en conditions d'obscurité. (Van Grunsven, 2016).

Constats généraux :

- peu d'études sur les urodèles, malgré le fait qu'elles soient surtout crépusculaires ou nocturnes (MEB-ANPCEN, 2015).

Bilan

Effets identifiés dans le cadre de cette étude des différentes longueurs d'onde sur les amphibiens : (X : effet constaté ; O : pas ou peu d'effet identifié ; ? : pas d'information).

UV (<400 nm)	Violet (400-420 nm)	Bleu (420-500 nm)	Vert (500-575 nm)	Jaune (575-585 nm)	Orange (585-605 nm)	Rouge (605-700 nm)	Infra-Rouge (>700 nm)
?	X	X	X	X	X	O X (effet existant mais réduit pour certaines espèces)	?

Effets identifiés dans le cadre de cette étude des différentes technologies d'éclairage sur les amphibiens : (X : effet constaté ; O : pas ou peu d'effet identifié ; ? : pas d'information).

Sodium Basse Pression	Sodium Haute Pression	Iodures Métalliques	Vapeur de Mercure	LED
?	?	?	?	X

2.3.4 Effet de l'éclairage sur les insectes



Hippotion Eson (Sphinx de La Réunion)
et Hanne-ton en vol
Source : pixabay.com

Reproduction :

- diminution significative de la distance d'attraction par la femelle du ver luisant sous conditions d'éclairage artificiel (Siblet, 2008).

Croissance, développement :

- impact sur tout le cycle de vie, depuis le stade larvaire (MEB-ANPCEN, 2015).

Déplacements/ orientation/ phototaxie :

- phototaxie positive des insectes, en particulier (à 99%) : moustiques, papillons, mouches et coléoptères. Rayon d'attraction d'un lampadaire : de 400 à 700 mètres, réduit à 50 mètres par pleine lune ; corrélation entre puissance de la lampe et nombre d'insectes attirés : plus la lampe est puissante, plus le nombre d'insectes est important ; et entre spectre lumineux émis et nombre d'insectes attirés : certains spectres sont beaucoup plus attirants que d'autres (Siblet, 2008) ;
- un alignement de lampadaires constitue une barrière quasiment infranchissable (Siblet, 2008) ;
- 3 catégories d'effets sur les insectes :
 - fixation/ captivité autour du point lumineux rendant les insectes sujets à une plus forte prédation et à épuisement ;
 - crash barrier : un alignement de points lumineux constitue une barrière infranchissable pour nombre d'espèces ;
 - vaccum cleaner: les espèces sont aspirées depuis leur habitat vers les sources lumineuses (MEB-ANPCEN, 2015) ;
- les insectes sont fortement attirés par les UV émis par les lampes, notamment à Vapeur de Mercure, de couleur « blanche » ; les lampes « jaunes » les attirent moins. L'intensité d'émission des UV semble avoir une incidence limitée sur le phénomène d'attraction, leur seule présence dans le spectre émis, même à des niveaux très faibles, étant suffisant pour attirer fortement les insectes (Barghini, 2012).

Exposition à la prédation :

- un des effets de la pollution lumineuse sur les insectes : fixation/ captivité autour du point lumineux rendant les insectes sujets à une plus forte prédation (MEB-ANPCEN, 2015).

Niveau d'activité générale à proximité des sources lumineuses :

- conséquence de la forte attraction des insectes pour les sources lumineuses artificielles : mort par épuisement (vol circulaire autour de la source lumineuse), combustion, collision avec véhicules, sur-prédation par chauves-souris ou amphibiens, voire araignées (Siblet, 2008) ;
- estimation de 150 insectes tués par lampadaire par nuit d'été, soit un milliard par nuit sur 6,8 millions de réverbères en Allemagne ; conséquence sur tout le réseau trophique dépendant de ces espèces, ainsi que sur les plantes consommées ou pollinisées par ces insectes (Siblet, 2008) ;

Constats généraux :

- perception des couleurs altérée par la pollution lumineuse chez certains papillons Sphynx (Siblet, 2008) ;
- à priori plus forte sensibilité à l'éclairage des espèces d'insectes aquatiques par rapport aux espèces terrestres (MEB-ANPCEN, 2015) ;
- à priori, les lampes les moins nuisibles sont les SBP, les lampes à grande longueur d'onde (rouge par ex) ; avis contradictoires sur les LED, même si une étude a démontré la plus grande efficacité des pièges lumineux à LED (+48%) par comparaison aux pièges à SHP ;

- les insectes sont fortement attirés par les longueurs d'ondes bleues et UV, même à de très faibles niveaux, en particuliers les coléoptères et diptères ; résultats obtenus en zone tropicale (Sao Paulo) et en zone tempérée (Allemagne) (Barghini, 2012) ;
- les insectes, et en particulier les papillons de nuit et diptères, devraient être plus attirés par les lampes à Iodure métalliques de type CosmoWhite, qui émettent notamment des UV, que par les lampes à Sodium Basse Pression ; cette hypothèse n'a cependant pas pu être vérifiée au travers de l'activité des chauves-souris en chasse (qui devrait être plus importante aux alentours des premières) (Barghini, 2012).

Bilan

Effets identifiés dans le cadre de cette étude des différentes longueurs d'onde sur les insectes : (X : effet constaté ; O : pas ou peu d'effet identifié ; ? : pas d'information).

UV (<400 nm)	Violet (400-420 nm)	Bleu (420-500 nm)	Vert (500-575 nm)	Jaune (575-585 nm)	Orange (585-605 nm)	Rouge (605-700 nm)	Infra-Rouge (>700 nm)
X	?	X	?	?	?	?	O

Effets identifiés dans le cadre de cette étude des différentes technologies d'éclairage sur les insectes : (X : effet constaté ; O : pas ou peu d'effet identifié ; ? : pas d'information).

Sodium Basse Pression	Sodium Haute Pression	Iodures Métalliques	Vapeur de Mercure	LED
?	X	?	X	X

2.3.5 Effet de l'éclairage sur les poissons et les invertébrés aquatiques

Reproduction :

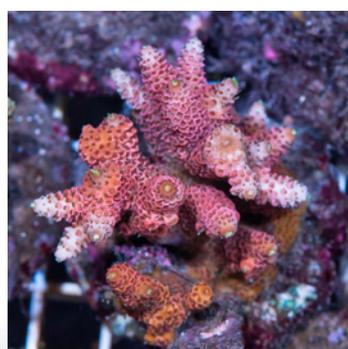
- chez les téléostéens (96 % des espèces de poissons référencés), l'intensité lumineuse a une incidence sur la reproduction (MEB-ANPCEN, 2015) ;
- la ponte synchronisée et de masse de très nombreux récifs de coraux qui intervient chaque année dans la Grande Barrière de Corail en Australie, implique plus de 130 espèces de coraux. Cette synchronisation optimise le succès de fertilisation, et est influencée par plusieurs facteurs environnementaux, comme la température de l'eau, **la phase de la lune et le cycle de la lumière du jour.**

En aquarium, **la ponte synchronisée** de l'espèce *Acropora Millepora* **n'intervient pas** lorsque le corail est uniquement **éclairé de manière artificielle** de midi à minuit, et dans l'obscurité de minuit à midi, alors qu'elle intervient bien lorsque le corail est éclairé de manière naturelle (soleil en journée, cycle normal de la lune de nuit) ;

Le phénomène de ponte d'*Acropora Millepora* est contrôlé par un ensemble de gènes dont le fonctionnement est altéré sous conditions d'éclairage artificiel de jour et d'obscurité totale de nuit ; un changement par rapport à un éclairage naturel désynchronise la libération des gamètes et affecte donc la reproduction du corail *Acropora Millepora* ; Lors d'une expérimentation pendant laquelle la durée du jour était artificiellement prolongée au moyen d'éclairage artificiel du coucher de soleil jusqu'à minuit, l'éclairage au moyen de lumière émettant dans le rouge (620-700 nm) n'a pas eu d'incidence sur le moment de la ponte d'*Acropora Millepora* par rapport aux coraux témoins en milieu naturel ; par contre, l'utilisation de lumières vertes (500-620 nm), bleue (400-500 nm) ou à large spectre (400-700 nm) a retardé la ponte de quelques heures à deux nuits (Kaniewska et al, 2015).



Idole des Maures - Source : Wikipedia



Acropora Millepora
Source : Wikipedia

Croissance, Développement :

- les coraux étant des organismes fréquemment symbiotiques avec des algues, leur croissance est influencée par la lumière nécessaire à la photosynthèse de ces dernières (Schlachter et. al, 2007) ;
- en aquaculture, un éclairage 24h/24 de saumon atlantique à l'automne permet un accroissement significatif fin mai ; à l'inverse, c'est une obscurité continue qui favorise la croissance des poissons-chats juvéniles (MEB-ANPCEN, 2015).

Repos :

- chez les téléostéens, l'intensité lumineuse a une incidence sur la sédation (état veille/ sommeil) (MEB-ANPCEN, 2015).

Déplacements/ orientation/ phototaxie :

- les planaires (ver plat) fuient la lumière à une vitesse proportionnelle à la puissance de la source lumineuse (Siblet, 2008) ;
- les jeunes anguilles fuient la lumière, ce qui modifie leur positionnement dans la colonne d'eau (Siblet, 2008) ;
- la phototaxie des poissons vis-à-vis des sources lumineuses est variée en fonction des espèces, des types de lampes, celle-ci pouvant être positive ou négative, parfois nulle (Musters et. al., 2009) ;
- la phototaxie (qui peut être positive = attirance ou négative = répulsion) varie entre les espèces, et au cours de la vie de certaines espèces (ex : chez le saumon et la truite) (MEB-ANPCEN, 2015) ;
- chez les téléostéens, l'intensité lumineuse a une incidence sur la migration, le fait de se déplacer ou non en banc (MEB-ANPCEN, 2015) ;
- incidence néfaste des éclairages sur les corridors aquatiques (MEB-ANPCEN, 2015) ;
- action fortement répulsive des effets stroboscopiques et des lampes allumées sur de très courtes durées ; adaptation de certaines espèces (mais pas toutes) quand l'éclairage est constant (MEB-ANPCEN, 2015).



Planaire *Prostheceraeus Vittatus*
Source : Wikipedia

Alimentation :

- modification des équilibres dans la recherche alimentaire entre certaines espèces concurrentes (Siblet, 2008) ;
- la lumière artificielle affecte le comportement d'alimentation des saumons et ainsi indirectement leur croissance (Musters et. al., 2009) ;
- la lumière affecte la recherche alimentaire à la fois en laboratoire et en conditions naturelles (Musters et. al., 2009) ;
- chez les téléostéens, l'intensité lumineuse a une incidence sur l'alimentation (MEB-ANPCEN, 2015) ;
- perturbation des rapports proies- prédateurs, la lumière étant un paramètre déclenchant l'action de chasse en mer, à des seuils variables selon les espèces ; les espèces en bas de la chaîne alimentaire (planktonophage par exemple) seraient désavantagées, et les prédateurs favorisés ; en contexte de cours d'eau, ce phénomène a des incidences sur les phénomènes migratoires (pouvant être stoppés par l'éclairage, les individus devant migrer se cachant supposément des prédateurs) (MEB-ANPCEN, 2015) ;
- les points lumineux aux abords de points d'eau attirent les insectes, prédatés de manière plus importantes par les chiroptères, et donc moins disponibles en tant que ressource alimentaire pour les poissons (MEB-ANPCEN, 2015).

Production et régulation hormonales :

- la production d'hormones de stress est augmentée sous une lumière bleue de forte intensité, mais pas sous une lumière blanche (sans précision sur la technologie employée), ou une lumière bleue de faible intensité (Musters et. al., 2009) ;
- parmi les fonctions suivantes, l'alimentation, la migration, la reproduction, le fait de se déplacer ou non en banc, la couleur de la peau et la consommation d'oxygène, mais aussi la sédation (état veille/ sommeil), la préférence thermique, certaines sont sous l'influence d'hormones, dont la mélatonine, dont la production est très sensible à la lumière (notamment aux longueurs d'onde bleues et vertes), de très faibles niveaux d'éclairage étant suffisant pour décaler voire inhiber cette sécrétion hormonale (MEB-ANPCEN, 2015).

Exposition à la prédation :

- perturbation de la migration des saumons, sur-prédatés par les phoques veaux-marins (Siblet, 2008) ;
- des changements d'intensité lumineuse peuvent modifier les relations proies-prédateurs ; exemple : remontée de zooplancton vers une surface éclairée, lui faisant subir une sur-prédation (Siblet, 2008) ;
- la lumière affecte les comportements anti-prédateurs des poissons à la fois en laboratoire et en conditions naturelles (Musters et. al., 2009) ;
- lorsque des pêcheurs utilisent des sources lumineuses pour pêcher la nuit, les prédateurs des poissons, dont d'autres poissons et des mammifères, sont attirés par ces sources lumineuses, probablement en raison de la plus forte densité de proies. La taille du poisson mangé pourrait ainsi changer sous condition d'éclairage artificiel (Musters et. al., 2009) ;
- perturbation des rapports proies-prédateurs, la lumière étant un paramètre déclenchant l'action de chasse en mer, à des seuils variables selon les espèces ; les espèces en bas de la chaîne alimentaire (planktonophage par exemple) seraient désavantagées, et les prédateurs favorisés ; en contexte de cours d'eau, ce phénomène a des incidences sur les phénomènes migratoires (pouvant être stoppé par l'éclairage, les individus devant migrer se cachant supposément des prédateurs) (MEB-ANPCEN, 2015) ;
- la lumière artificielle rend également les poissons visibles de mammifères ou oiseaux prédateurs en dehors des horaires de chasse habituels (MEB-ANPCEN, 2015) ;
- le déplacement en banc, considéré comme une méthode de protection vis-à-vis des prédateurs « naturels », est un comportement plutôt diurne qui s'atténue quand la luminosité diminue ; l'éclairage artificiel provoque de fait la formation de bancs, méthode utilisée pour la pêche de nuit par l'homme et de fait fortement impactante sur les populations de poissons (MEB-ANPCEN, 2015).

Niveau d'activité générale à proximité des sources lumineuses :

- forte augmentation de l'activité nocturne évoquée pour certaines espèces (Siblet, 2008) ;
- influence sur la migration verticale des Daphnies (Siblet, 2008) ;
- poissons abyssaux plus fortement perturbés par lumière blanche (provoquant potentiellement des lésions oculaires) que par lumière rouge (pas de précision sur longueurs d'onde ou technologies) (Siblet, 2008) ;
- la lumière affecte l'activité des poissons, notamment la recherche alimentaire, la formation de bancs, les comportements anti-prédateurs et de migration, à la fois en laboratoire et en conditions naturelles (Musters et. al., 2009) ;



Daphnie : petits crustacés mesurant de un à cinq millimètres
Source : wikipedia

- les poissons de « surface » seraient plus sensibles aux longueurs d'ondes habituelles à cette faible profondeur (jaune/ rouge), que les poissons de plus grande profondeur plus sensibles au vert et au bleu. Le pic d'absorption des cônes de l'œil des téléostéens indiquent qu'ils pourraient avoir une forte sensibilité aux UV, qui sont présents jusqu'au moins 100 mètres de profondeur dans les eaux claires (MEB-ANPCEN, 2015) ;
- les communautés d'espèces marines, et notamment les invertébrés fixés ou mobiles, sont au moins en partie affectées par l'éclairage par LED blanche, à des niveaux d'éclairage courants (19 lux et 30 lux). Cet éclairage constitue pour certaines espèces un facteur attractif favorisant la colonisation d'un milieu, et un facteur répulsif pour d'autres (Davies et. al, 2015).

Constats généraux :

- sensibilité à la pollution lumineuse très répandue chez les organismes aquatiques (Siblet, 2008) ;
- surfaces en eau en zones urbaines et périurbaines souvent fortement éclairées, influence de l'éclairage jusqu'à 3m de profondeur (Siblet, 2008) ;
- la réaction des poissons à la lumière artificielle pourrait dépendre de son intensité, de la densité de poissons, de la densité de prédateurs, de la température de l'eau, du stade de développement et de la saison (Musters et. al., 2009) ;
- chez les téléostéens, l'intensité lumineuse a une incidence sur l'alimentation, la migration, la reproduction, le fait de se déplacer ou non en banc, la couleur de la peau et la consommation d'oxygène, mais aussi la sédation (état veille/ sommeil), la préférence thermique, etc. (MEB-ANPCEN, 2015) ;
- décorrélation des rythmes biologiques (cycle circadien notamment) et de phénomènes habituellement corrélés (migration au coucher du soleil pour les jeunes saumons notamment) (MEB-ANPCEN, 2015).

Bilan

Effets identifiés dans le cadre de cette étude des différentes longueurs d'onde sur les poissons et invertébrés aquatiques : (X : effet constaté ; O : pas ou peu d'effet identifié ; ? : pas d'information).

UV (<400 nm)	Violet (400-420 nm)	Bleu (420-500 nm)	Vert (500-575 nm)	Jaune (575-585 nm)	Orange (585-605 nm)	Rouge (605-700 nm)	Infra-Rouge (>700 nm)
?	?	X (coraux)	X (coraux)	?	?	O (coraux)	?
X (poissons de profondeur)	?	X (poissons de profondeur)	X (poissons de profondeur)	X (poissons de surface)	?	X (poissons de surface)	?

Effets identifiés dans le cadre de cette étude des différentes technologies d'éclairage sur les poissons et invertébrés aquatiques : (X : effet constaté ; O : pas ou peu d'effet identifié ; ? : pas d'information).

Sodium Basse Pression	Sodium Haute Pression	Iodures Métalliques	Vapeur de Mercure	LED
?	?	?	?	X

2.3.6 Effet de l'éclairage sur la flore chlorophyllienne



Reproduction :

- un éclairage temporaire nocturne peut interrompre une floraison (Siblet, 2008) ;
- les insectes pollinisateurs nocturnes sont majoritairement représentés par les lépidoptères, eux-mêmes fortement impactés par la pollution lumineuse : la pollinisation nocturne est donc indirectement affectée par l'éclairage artificiel (MEB-ANPCEN, 2015).

Croissance, Développement :

- influence de l'obscurité, de sa durée et de l'évolution de sa durée sur le métabolisme et le fonctionnement des plantes et des arbres : l'augmentation de la durée des nuits provoque l'entrée en dormance des végétaux tempérés, tout comme la chute des feuilles ; un éclairage nocturne peut annuler cette chute des feuilles des arbres ;
- la lumière affecte également la germination des graines, la croissance des plantes, l'expansion des feuilles, le développement des fruits et la sénescence ;
- les facteurs prépondérants influençant la croissance des plantes sont la durée de l'éclairage, le type de lampe et l'intensité lumineuse ;
- la photopériode (durée des périodes d'obscurité et de lumière) influence tous les stades de croissance du quinoa ;
- la lumière artificielle retarde la croissance du riz, et ralentit la germination de certaines plantes ; elle a une influence sur le développement et l'architecture du système racinaire, et rend toxique des composés hydro-carboniques aromatiques. (Siblet, 2008) ;
- les plantes montrent un spectre de réponse à 2 pics dans le cadre de la photosynthèse : dans les faibles longueurs d'onde (UV/ bleu ou cyan) et dans les grandes longueurs d'ondes (rouge). De fait, l'apport de ces deux spectres lumineux est suffisant pour provoquer la croissance d'une plante. Cependant, l'ajout d'une lumière bleue-verte (505 nm) améliore la croissance et l'accumulation de biomasse.

Sous éclairage artificiel, les plantes ont une meilleure croissance quand le ratio lumineux rouge/ infra rouge est proche de celui présent en conditions naturelles. Quand l'infra-rouge domine le spectre, comme en situation d'ombre sous d'autres plantes, elles ont tendance à s'allonger (effet de l'infrarouge sur le phototropisme) (Musters et al., 2009) ;

- les plantes vasculaires disposent de photorécepteurs sensibles notamment aux longueurs d'ondes rouges et infrarouges, qui leur apportent des indications sur la durée effective du jour (qui, couplée à l'évolution journalière de cette durée, donne une indication sur la saison), ce qui leur permet de déclencher des étapes phénologiques-clés au moment adapté, telles que le débourrement, la formation des bourgeons ou la floraison dans des conditions environnementales censées leur être favorables (éviter le gel, optimiser la période feuillée, etc.). Un décalage dans le temps d'une de ces étapes, comme le débourrement, a des conséquences sur les autres espèces en dépendant, comme dans le cas du chêne pédonculé et de la chenille de la Phalène brumeuse (lépidoptère) : si le débourrement est précoce, la chenille risque d'émerger en retard et de disposer ainsi d'une ressource alimentaire (feuilles de chêne) moins tendre et moins digeste (Ffrench-Constant et. al, 2016).

Exposition à la prédation et aux parasites :

- la lumière artificielle a une influence sur le cycle de vie de parasites des végétaux (Siblet, 2008).

Niveau d'activité générale à proximité des sources lumineuses :

- réceptivité à des signaux lumineux variés : UV, bleus, rouges et proches infrarouge (Siblet, 2008) ;
- des observations suggèrent que la phénologie de plusieurs espèces d'arbres en milieu urbain est affectée à proximité d'éclairages artificiels, à la fois par un débourrement précoce et une chute des feuilles retardée (Ffrench-Constant et. al, 2016).

Bilan

Effets identifiés dans le cadre de cette étude des différentes longueurs d'onde sur les plantes chlorophylliennes : (X : effet constaté ; O : pas ou peu d'effet identifié ; ? : pas d'information).

UV (<400 nm)	Violet (400-420 nm)	Bleu (420-500 nm)	Vert (500-575 nm)	Jaune (575-585 nm)	Orange (585-605 nm)	Rouge (605-700 nm)	Infra-Rouge (>700 nm)
X	?	X	X	?	?	X	X

Effets identifiés dans le cadre de cette étude des différentes technologies d'éclairage sur les plantes chlorophylliennes : (X : effet constaté ; O : pas ou peu d'effet identifié ; ? : pas d'information).

Sodium Basse Pression	Sodium Haute Pression	Iodures Métalliques	Vapeur de Mercure	LED
?	?	?	?	?

2.3.7 Bilan des effets par taxons

Bilan

Effets identifiés dans le cadre de cette étude des différentes longueurs d'onde sur les différents taxons considérés : (X : effet constaté ; O : pas ou peu d'effet identifié ; ? : pas d'information).

BILAN (D'APRÈS LA PRÉSENTE BIBLIOGRAPHIE) DES EFFETS DES LONGUEURS D'ONDE VISIBLES ET PROCHES DU VISIBLE SUR DIFFÉRENTS TAXA

	UV (<400 nm)	Violet (400-420 nm)	Bleu (420-500 nm)	Vert (500-575 nm)	Jaune (575-585 nm)	Orange (585-605 nm)	Rouge (605-700 nm)	IR (>700 nm)
Chiroptères	X	X	X	X	O	?	O	?
Mammifères terrestres	?	?	X	?	?	?	?	?
Mammifères marins	?	?	?	?	?	?	?	?
Oiseaux	X	?	X	X	?	X	X	?
Tortues marines	?	X	X	X	?	?	O	?
Autres reptiles	?	?	?	?	?	?	?	?
Amphibiens	?	X	X	X	X	X	O X (effet réduit pour certaines espèces)	?
Insectes	X	?	X	?	?	?	?	O
Coraux/Invertébrés aquatiques	?	?	X	X	?	?	O	?
Poissons	X (poissons de profondeur)	?	X (poissons de profondeur)	X (poissons de profondeur)	X (poissons de surface)	?	X (poissons de surface)	?
Plantes chlorophylliennes	X	?	X	X	?	?	X	X

Effets des différentes technologies d'éclairage sur les différents taxons considérés identifiés dans cette étude : (X : effet constaté ; O : pas/peu d'effets identifiés ; ? : pas d'information).

BILAN (D'APRÈS LA PRÉSENTE BIBLIOGRAPHIE) DES EFFETS DES DIFFÉRENTES TECHNOLOGIES D'ÉCLAIRAGES SUR DIFFÉRENTS TAXA

	Sodium Basse Pression	Sodium Haute Pression	Iodures Métalliques	Vapeur de Mercure	LED
Chiroptères	X (espèces à vol lent)	X	X	X	X
Mammifères terrestres	X	?	?	?	?
Mammifères marins	?	?	?	?	?
Oiseaux	?	?	X	X	?
Tortues marines	O	?	?	X	?
Autres reptiles	?	?	?	?	?
Amphibiens	?	?	?	?	X
Insectes	?	X	?	X	X
Coraux/Invertébrés aquatiques	?	?	?	?	X
Poissons	?	?	?	?	?
Plantes chlorophylliennes	?	?	?	?	?

La synthèse réalisée ci-avant est évidemment incomplète, d'une part de par le temps disponible pour cette étude, et d'autre part du fait des très nombreux effets/ taxons/ interactions/ territoires/ échelles de territoires/ échelles de temps, etc. non encore étudiés à ce jour.

Elle suffit cependant à comprendre que l'évaluation de l'impact de l'éclairage artificiel sur la biodiversité est très complexe, et que cette question ne se pose pas uniquement en termes d'espèce ou de quantité de lumière émise, mais également en termes de :

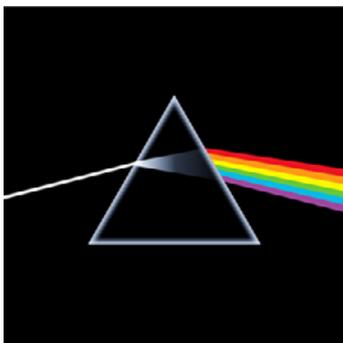
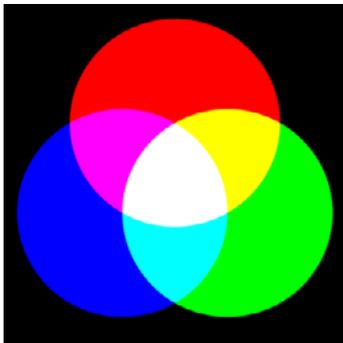
- configurations d'éclairage plus ou moins impactantes selon les espèces :
 - configurations linéaires pouvant générer un effet de « barrière » nocturne (« crash barrier effect »), véritable obstacle aux déplacements ;
 - points lumineux plus espacés (voire complètement isolés) mais trop proches de sites à enjeux (gîtes de reproduction, de repos ou d'hivernage, sites de pontes, corridors de déplacement...) dont la lumière est mal maîtrisée et éclaire ces espaces à préserver et créant un effet d'attraction ou de répulsion, ou favorisant une activité humaine génératrice de dérangements, ou favorisant la prédation, etc.
 - flux émis directement vers le ciel ou vers l'horizon et pouvant créer des effets d'attraction et/ou d'éblouissement pour les oiseaux par exemple (notamment dans le cas de sources très puissantes (éclairages de stades ou d'installations industrielles), un effet de halo désorientant pour les espèces volantes, renforcé par temps nuageux ou de brouillard ;
- spectre de lumière émise, sachant que :
 - toutes les espèces n'ont pas le même système visuel, ni le même type et la même quantité de photorécepteurs, et ne perçoivent et ne réagissent pas toutes aux mêmes longueurs d'onde (les réactions semblent cependant plus homogènes dans le règne végétal photosynthétique que dans le règne animal, du fait du point commun que constitue la photosynthèse) ;
 - au sein d'une même espèce, la sensibilité à ces longueurs d'onde peut varier en fonction de l'âge et du sexe de l'individu considéré, mais aussi en fonction de l'heure de la nuit ou la période de l'année considérée, des conditions météorologiques, de la phase de la lune, de la température, etc.



2.4 CARACTÉRISTIQUES DES SYSTÈMES D'ÉCLAIRAGE ET IMPACTS SUR LA BIODIVERSITÉ

2.4.1 Caractérisation spectrale de la lumière

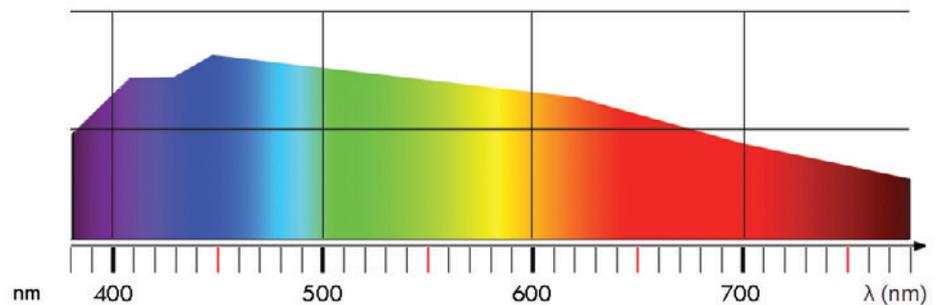
DIAGRAMMES DE SYNTHÈSE
ADDITIVE
(ROUGE+VERT+BLEU = BLANC)



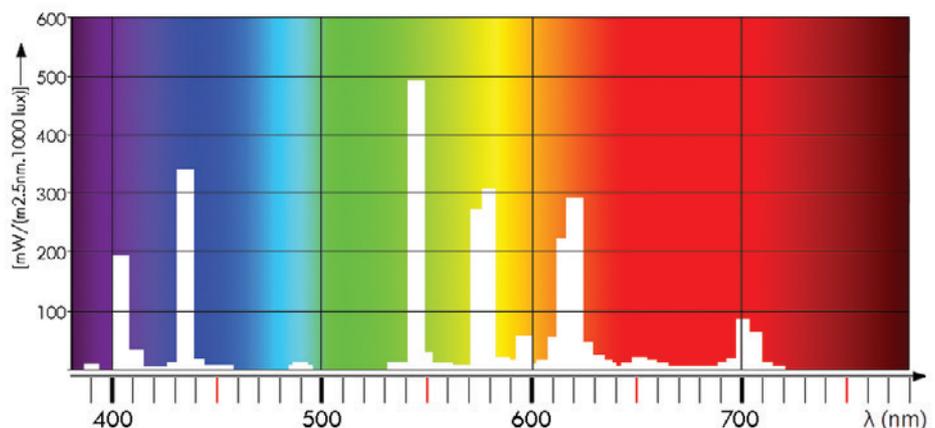
En éclairage, une lumière « blanche » ou pas est en réalité, pour le système visuel humain, l'addition des lumières primaires rouge, verte et bleue qui sont émises sous forme de « raies » représentatives de spectres discontinus selon certaines longueurs d'ondes (exemple : Sodium Haute Pression - SHP) ou de spectres continus (exemple : LED). (Pour information, la lumière du jour produit un spectre continu, dont le contenu varie en fonction de l'heure de la journée, de la nébulosité, etc.).

À l'exception des lampes monochromatiques (exemple : Sodium Basse Pression), la couleur perçue par l'observateur est toujours le résultat de la combinaison d'émissions à plusieurs longueurs d'onde λ .

SPECTRE CONTINU PROCHE DE LA LUMIÈRE DU JOUR

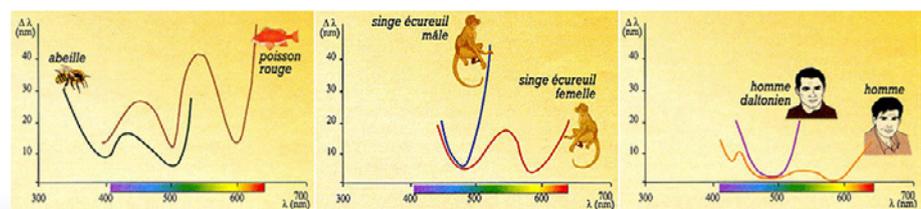


SPECTRE DISCONTINU : ÉMISSION PAR RAIES



Comme vu précédemment, pour certaines espèces, le spectre du visible peut être plus ou moins éloigné de celui du système visuel humain. Certaines espèces peuvent ainsi percevoir un spectre plus large, plus réduit ou décalé.

EXEMPLES DE VARIATIONS DE LA PERCEPTION DU SPECTRE LUMINEUX
EN FONCTION DE L'ESPÈCE, DU SEXE ET D'UNE ANOMALIE DE LA VISION



Source : www.vetopsy.fr

Comme vu dans la synthèse bibliographique ci-avant, l'impact de la lumière sur de nombreuses espèces animales est clairement identifié dans les publications. Pour autant, les connaissances restent souvent encore floues sur la composition de cette lumière en termes de rayonnement et de longueurs d'onde qui seraient les plus impactants.

Pour illustration, dans Salamolard et al. 2001, on peut trouver un tableau classifiant le degré d'attraction des Pétrels selon la couleur de la lumière émise.

Couleur de la lumière	Lampe d'éclairage urbain concernée	Attraction sur les Pétrels
Bleue/Verte	Vapeur de Mercure	+++
Blanc	Iodures métalliques	+
Jaune monochromatique	Sodium basse pression	-
Jaune orangé	Sodium haute pression	-
Rouge		

S'il fait un lien entre couleur, technologie d'éclairage et attraction sur les Pétrels, ce tableau ne permet cependant pas de conclure sur l'impact spécifique de tout ou partie des spectres d'émission qui caractérisent les technologies de lampes que l'on retrouve sur les parcs d'éclairage urbain.

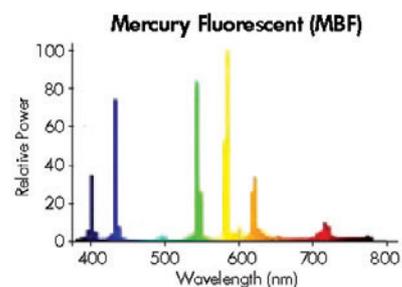
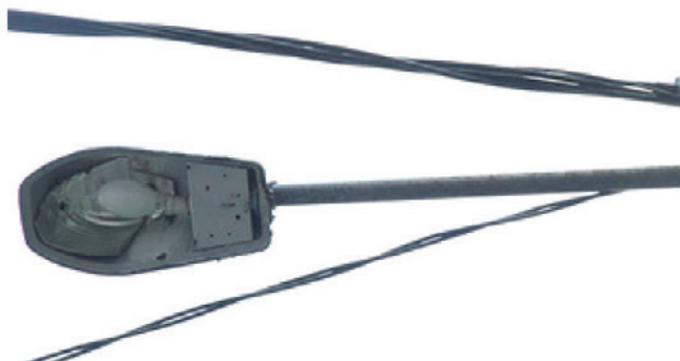
Ces technologies sont donc décrites et commentées dans le paragraphe suivant, qui illustre, pour chacune des sources citées ci-dessus, plus les LED, les caractéristiques principales de ces lampes, leur spectre représentatif et les tendances d'emploi dans les parcs d'éclairage des collectivités.

2.4.2 Technologies de lampes utilisées en éclairage extérieur

Les lampes « **Vapeur de Mercure** » (**VM**), dont la commercialisation a été stoppée en 2015 en application d'une Directive européenne (règlement n°245/2009 de la commission - 18 mars 2009) en raison de leur faible efficacité énergétique, vont être amenées à disparaître des parcs d'éclairage. Se pose alors la question des technologies de remplacement qui pourraient à la fois répondre aux objectifs énergétiques fixés (réduire fortement la consommation de l'éclairage urbain), à la garantie d'un confort visuel nocturne et aux enjeux de la préservation de la biodiversité. Elle est présente en majorité dans des lotissements (souvent intégrées aux luminaires « boules »), et dans certains vieux lampadaires de rue comme à Îlet Bois-de-Pomme (photo ci-dessous).

Enjeu vis-à-vis de la biodiversité

Comme vu sur le spectre ci-dessous, ces lampes possèdent des pics d'émissions dans le bleu et le violet, voire l'ultra-violet, et sont de fait fortement impactantes sur la biodiversité animale, notamment par l'action des rayonnements bleus sur la production de mélatonine.



Les lampes **Sodium Basse Pression (SBP)**, monochromatique (longueur d'onde ≈ 580 nm) sont des lampes qui ont quasiment disparu du paysage nocturne urbain français en raison de leur couleur jaune orangée caractéristique (qualifiée de monochromatique car ne présentant qu'un seul pic d'émission) et de la mauvaise restitution des couleurs qui en découle. Elle est d'ailleurs inclassable sur ce critère d'IRC⁸.

Cette lampe reste cependant la plus efficace en termes de rendement énergétique, supérieure à toutes les technologies, dont la lampe SHP qui l'a supplantée en milieu urbain, cette dernière représentant un meilleur compromis entre efficacité énergétique et rendu visuel nocturne. Le rendement est également meilleur que les luminaires LED actuels. (à titre d'illustration, dans les gammes de lampes puissantes, la lampe SBP Philips Master SOX 131 W atteint un rendement de 206 lumens par Watt, alors que la technologie LED affiche des rendements plus proches de 100/110 lumens par Watt).

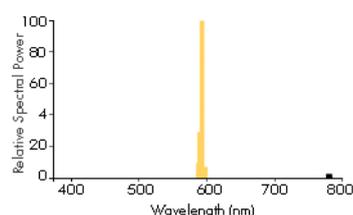
Certains pays du nord de l'Europe (exemple : Royaume-Uni) ont conservé l'utilisation des lampes SBP, privilégiant ainsi l'efficacité énergétique au détriment du rendu visuel nocturne. À noter pour autre caractéristique justifiant cet usage, celle d'être beaucoup plus efficace et moins éblouissante par temps de brouillard que les autres technologies disponibles.

Enjeu vis-à-vis de la biodiversité

Cette technologie est considérée comme la moins impactante vis-à-vis de la biodiversité animale, de par son émission monochromatique, très étroite en termes de spectre, et à une longueur d'onde pour laquelle on constate le moins d'impact (Absence d'UV, de lumières bleues, d'infrarouge, etc.).

NB : Elle est également facile à filtrer par les astronomes pour l'observation du ciel.

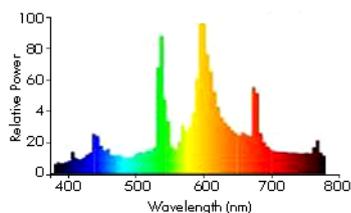
LAMPE SODIUM BASSE PRESSION (SBP) ET SON SPECTRE LUMINEUX



8. Indice de rendu des couleurs d'une lampe (IRC) : capacité de restitution des couleurs d'une lampe d'éclairage artificiel en référence aux couleurs perçues par l'homme en conditions de lumière naturelle. La classification est faite sur une échelle de 1 à 100, 100 étant la note attribuée à la lumière émise par le soleil.

Les lampes **Iodures (ou halogénures) Métalliques (IM)** référencées comme « blanches » présentent en fait un spectre à raie à forte dominante verte et à un degré moindre bleue et jaune. Fortement utilisées à partir des années 1990 pour leur bonne capacité de restitution des couleurs (IRC), elles sont lentement supplantées par les LED aujourd'hui qui offrent un meilleur rendement énergétique, une meilleure durée de vie tout en assurant un rendu des couleurs équivalent (> 80). On les retrouve à La Réunion principalement, en raison de leur bon IRC et des puissances nécessaires, pour l'éclairage des stades (exemple : stade de Cilaos), les infrastructures industrielles (exemple : partie du grand port maritime) ou les boulodromes (exemple : boulodrome du Barachois à Saint-Denis), trois sites qui ont fait l'objet d'une visite dans le cadre de notre mission de terrain.

SPECTRE D'UNE LAMPE IODURE MÉTALLIQUE



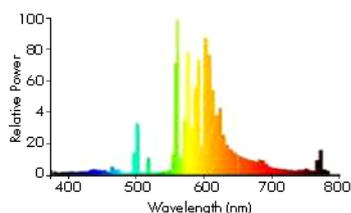
Enjeu vis-à-vis de la biodiversité

La couleur « blanche » de cette lampe est le résultat additif des longueurs d'onde émises, qui possèdent a priori une capacité d'attraction sur les oiseaux marins, insectes et, indirectement par la présence des insectes, sur les chiroptères insectivores. L'utilisation de ces lampes dans des projecteurs placés très hauts (20 m ou plus) et orientés au-dessus de l'horizontale renforce cet effet perturbant pour les espèces volantes.

Les pics d'émission dans le bleu, violet et ultra-violet sont, comme vu précédemment, impactants sur la biodiversité animale. Les végétaux sont également sensibles à ces lampes qui émettent également dans le rouge/infrarouge, émissions qui, en complément des ultraviolets et du bleu, activent le phénomène de photosynthèse, mécanisme diurne en conditions naturelles.

Les lampes **Sodium Haute Pression (SHP)** à forte dominante jaune/doré. Elles représentent les lampes les plus employées aujourd'hui en éclairage public (2/3 du parc) en raison d'un des rendements énergétiques les plus efficaces (exemple : lampe Philips SOX 55W BY22d 1SL/12 : rendement de 140 lumens/ Watt). Ces lampes ont cependant une capacité plus réduite de restitution des couleurs (IRC < 30). Leur spectre présente une forte dominance jaune/verte. À La Réunion, on trouve largement ces lampes en éclairage urbain (routes) et industriel (usines sucrières, grand port maritime).

SPECTRE D'UNE LAMPE SODIUM HAUTE PRESSION (SHP)



Enjeu vis-à-vis de la biodiversité

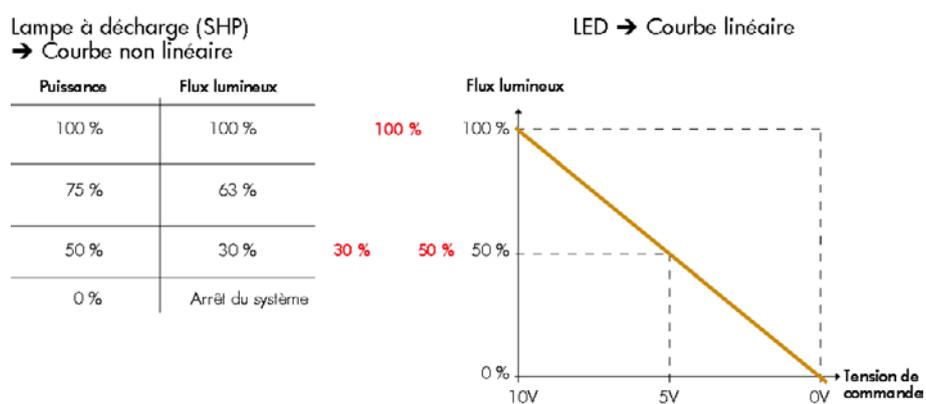
Bien que produisant une couleur perçue assez proche dans le jaune-orangé, les SHP ont un spectre d'émission beaucoup plus large que les SBP, et sont de fait impactantes sur un plus grand nombre d'espèces ; pour autant, ces lampes émettent cependant très peu dans le bleu/UV et relativement peu dans le rouge/ infrarouge, et fortement dans le jaune/ vert et orange. Cette technologie semble donc préférable aux IM, VM ou LED en termes d'impact sur la biodiversité animale. Enfin, utilisée en horticulture pour provoquer la floraison et la fructification, elle est impactante sur la végétation chlorophyllienne en milieu naturel.

Les **LED** : Si les 2 familles VM et IM proposant une lumière « blanche » sont aujourd’hui soit en voie de suppression (VM) ou de remplacement à moyen terme (IM), la question de la technologie LED se pose, cette dernière étant fortement pressentie pour assurer les gains énergétiques escomptés doublés d’autres intérêts mis en avant par les constructeurs : augmentation annoncée de la durée de vie, meilleure maîtrise des flux donc moins de pollution lumineuse, déploiement des systèmes de télégestion et d’éclairage « intelligent ».

Cet éclairage « intelligent » passe notamment par la possibilité de moduler le flux lumineux proportionnellement au courant d’alimentation et donc à la puissance consommée. La LED est la seule technologie disponible à ce jour en éclairage extérieur offrant cette possibilité de réglage très fin et sans « perte ».

Exemple : un courant réduit de moitié réduira le flux lumineux émis par une lampe LED de moitié. La perte de flux est beaucoup plus importante pour les lampes à décharge (exemple : SHP, IM) que le gain énergétique.

EVOLUTION DU FLUX SORTANT DANS LE CAS DE RÉDUCTION DE TENSION D’ALIMENTATION
COMPARAISON LAMPES À DÉCHARGE (SHP À GAUCHE) ET LED (À DROITE)



Cependant, cette technologie récente et largement plébiscitée (pour les motifs évoqués précédemment) par les constructeurs, les éclairagistes, les énergéticiens et certaines politiques publiques, pose un certain nombre de questions en termes d’impact sur la santé humaine tels que :

- une toxicité avérée des courtes longueurs d’ondes (bleues) pour la rétine ;
- les forts soupçons d’effets aggravants de la lumière bleue sur la dégénérescence maculaire liée à l’âge (DMLA) (effets sanitaires des systèmes d’éclairage utilisant des diodes électroluminescentes (LED) - rapport d’expertise collective - ANSES - octobre 2010) ;
- les forts risques d’augmentation d’inconfort visuel en raison des très fortes intensités lumineuses émises par les LED sur des surfaces très faibles ;
- les effets sur la production de mélatonine et la perturbation des cycles circadiens, etc.

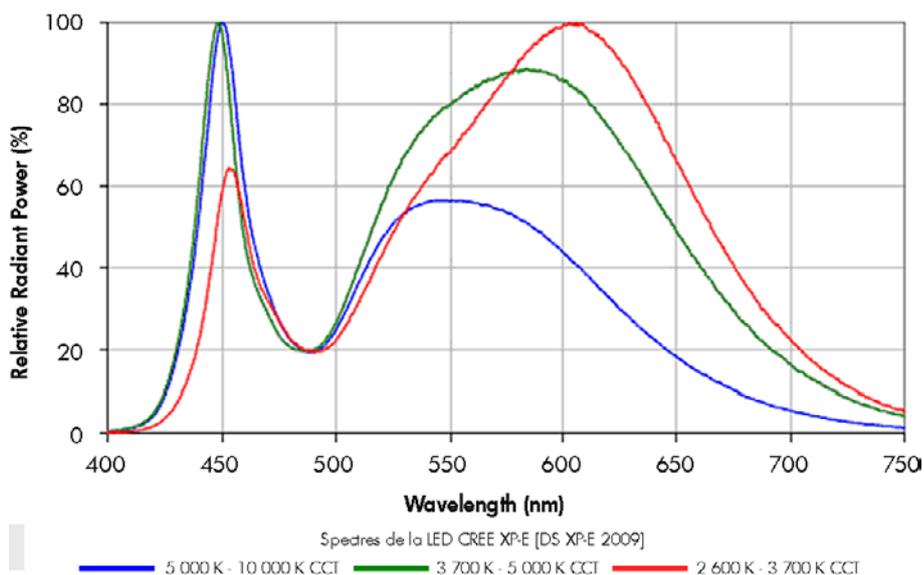
Elle pose aussi question quant à ses effets, encore peu étudiés, sur la biodiversité, mais également sur sa contribution à la pollution lumineuse (effet Raleigh - cf. page 51 - et halo lumineux au-dessus des villes). Le retour d’expérience est cependant très court sur son usage en éclairage extérieur, et peu d’études scientifiques sont à ce jour disponibles sur ces sujets.

Enfin, cette technologie embarquant une part importante d'électronique, elle est assez sensible aux variations de tension et est donc moins adapté à des réseaux d'alimentations anciens ou sujets à des sur ou sous-tensions régulières. La durée de vie de l'équipement, un des arguments importants en sa faveur, peut être largement réduite en cas d'utilisation dans ces conditions.

La lumière de la LED dite « blanche » que l'on pourra retrouver majoritairement en éclairage urbain (au-delà des éclairages événementiels ou décoratifs colorés) est composée d'un « pic » de longueur d'onde bleue « corrigée » par une couche de phosphore pour émettre du blanc (cf. synthèse additive en éclairage : jaune + bleu = « blanc »). Des nuances de blancs sont proposées par les fournisseurs, (exemple : blanc froid, blanc neutre...) et font donc appel à un filtre, qui a cependant un impact sur le rendement énergétique des LED. (cf. tableau ci-après)

En termes d'efficacité lumineuse (rapport lumen/watt), on peut constater de manière générale, pour les produits LED actuels, une baisse de rendement lorsque la température de couleur se « réchauffe ».

COMPARAISON DES SPECTRES ÉNERGÉTIQUES DE SOURCES LED

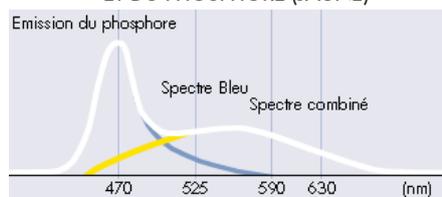


Source : www.LED-FR.net

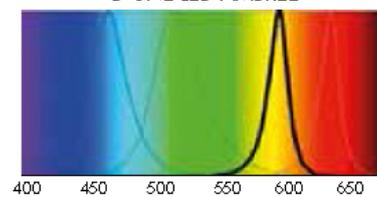
EFFICACITÉ LUMINEUSE DES LED (EN LUMEN/W)
EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE DE COULEUR DES SOURCES LED

	W	lm	lm/W
LED Ambré	24	1 300	54,2
LED 3 000 K	20	2 150	107,5
LED 4 000 K	20	2 370	118,5

COMBINAISON DES SPECTRES DE LED (BLEU)
ET DU PHOSPHORE (JAUNE)



RÉPARTITION SPECTRALE
D'UNE LED AMBRÉE



Source : MEB/ANPCEN

À La Réunion, cette technologie LED « blanche » a été rencontrée dans des sites récemment rénovés (bord de mer de Saint-Pierre, parking privé à Saint-Denis - photo ci-dessous) et semble se déployer sur certains secteurs urbains.

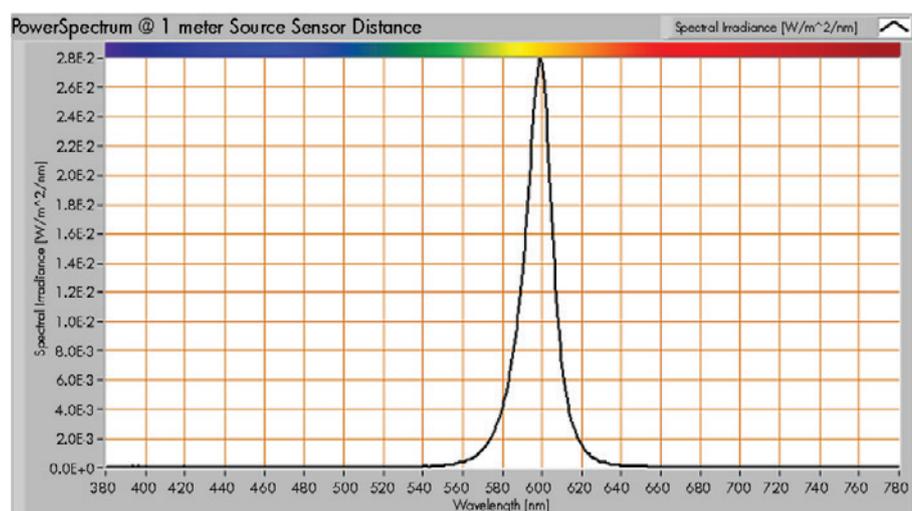


Utilisation de la technologie LED sur un parking privé (Saint-Denis). La lumière est ici assez froide

Cas de la LED ambrée

Cette typologie de LED, citée dans le guide MEB/ANPCEN et notamment dans le tableau ci-contre, citant les sources recommandées lorsque l'éclairage artificiel reste nécessaire, présente un spectre limité aux longueurs d'onde autour de 590 nm.

SPECTRE ÉNERGÉTIQUE D'UNE SOURCE LED AMBRÉE

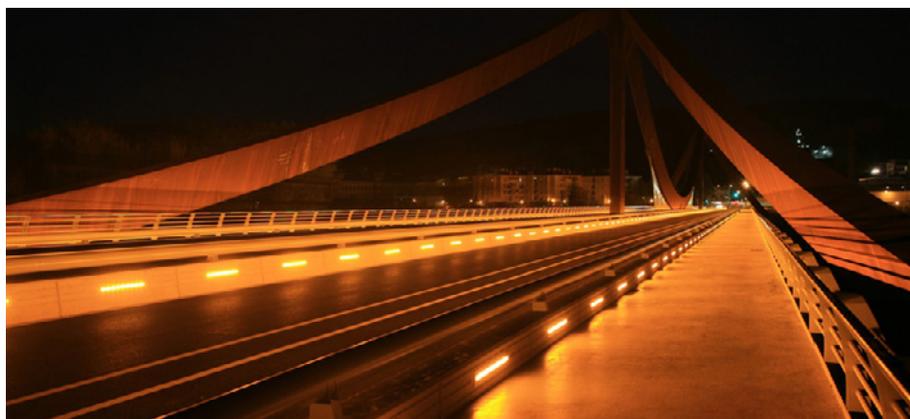


Source : Innolumis

Comme précisé au tableau page 41, cette typologie présente cependant une efficacité lumineuse bien inférieure à celle des LED « blanches » qu'il faudra comparer avec les exigences requises par la fiche RES-EC-104 des Certificat d'Économies d'Énergie (CEE - paragraphe 6.1.13 - page 110) et semblent commercialisées dans des puissances limitées (< 35 W).

Enjeu vis-à-vis de la biodiversité

Sauf en cas de correction altérant son rendement, la composante bleue est très prégnante dans cette technologie nouvelle. Or comme évoqué précédemment, cette émission dans le bleu est fortement impactante sur de nombreux taxons, et en particulier localement pour les oiseaux marins ; elle affecterait également les jeunes tortues lorsqu'elles cherchent à rejoindre le milieu marin à la naissance.



Utilisation de la technologie LED Ambre sur un pont de Girona (Espagne) - Source : inialight.com

2.4.3 Impacts des courbes spectrales identifiées sur les espèces

Dans la synthèse produite en 2015 par la MEB et l'ANPCEN, est proposé un tableau des bandes spectrales à éviter par taxons ; il n'a cependant pas été repris intégralement dans les tableaux synthétiques présentés au paragraphe 2.3.7 (page 34), faute d'avoir pu vérifier toutes les sources bibliographiques ayant permis sa constitution.

BANDES SPECTRALES « À ÉVITER » PAR GROUPE D'ESPÈCES

	UV (<400 nm)	Violet (400-420 nm)	Bleu (420-500 nm)	Vert (500-575 nm)	Jaune (575-585 nm)	Orange (585-605 nm)	Rouge (605-700 nm)	IR (>700 nm)
Poissons d'eau douce	X	X	X	X	X	X	X	
Poissons marins	X	X	X	X				
Crustacés (zooplancton)	X	X*	X*					
Amphibiens et reptiles	X	X	X	< 0 500 et > à 550	X	X	X	X
Oiseaux	X	X	X	X		X	X	X
Mammifères (hors chiroptères)	X	X	X	X			X	
Chiroptères	X	X	X	X				
Insectes	X	X	X	X				

* Probable mais non identifié dans la littérature scientifique

Source : MEB-ANPCEN 2015

Ce tableau récapitulatif confirme que les basses longueurs d'onde (produisant les UV, le violet, le bleu et dans une moindre mesure le vert) impactent tous les taxons animaux, quand la longueur d'onde correspondant au jaune (575 à 585 nm) apparaît la moins impactante. C'est donc la technologie au Sodium Basse Pression qui apparaîtrait, dans l'état actuel des connaissances et des technologies disponibles, comme la plus appropriée pour un usage en zone à enjeux de biodiversité au sens large. Il convient cependant de réaliser des analyses au cas par cas.

La solution « LED ambrée », si elle apparaît satisfaisante au regard des enjeux de préservation de la biodiversité, ne semble pas répondre aux enjeux énergétiques majeurs qu'il convient de prendre en compte notamment dans le contexte énergétique insulaire de l'île de La Réunion (cf. Chapitre 3 - page 53).

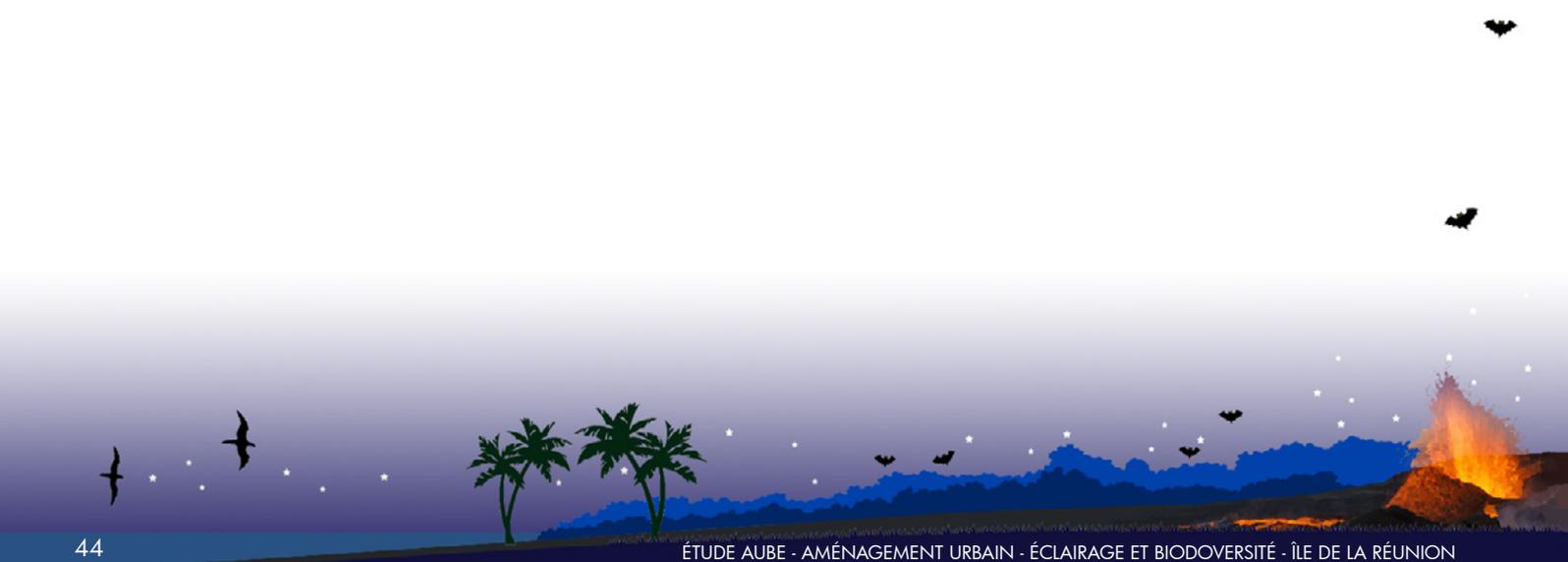
2.4.4 Bilan de l'effet des différentes technologies d'éclairage sur la biodiversité

La connaissance de l'impact des différentes technologies d'éclairage sur les organismes vivants est encore très lacunaire : l'évaluation, quand elle a été menée, porte souvent sur un ou quelques lampadaires, sur un ou deux espèces d'un même taxon, à une époque donnée de l'année, sur un territoire spécifique...

De fait, même si des hypothèses par extrapolation peuvent être émises, l'effet de l'éclairage sur une grande majorité des espèces n'a pas été évalué, et de nombreuses situations, échelles spatiales et temporelles, modalités d'éclairage (technologies, intensités, durée, orientation, configuration matérielle, etc.), interactions entre espèces, avec le milieu et au sein de l'écosystème, etc. doivent être étudiées pour avoir une vision plus complète sur ce sujet.

On peut cependant déjà constater qu'il n'existe aucune technologie d'éclairage qui n'aurait aucun impact sur les taxons animaux et sur la flore chlorophyllienne abordés ci-avant : tout lampadaire a donc un impact sur les êtres vivants qui l'entourent. On note cependant que parmi les technologies existantes, les lampes au Sodium Basse Pression, qui émettent une lumière quasi monochromatique (spectre très étroit), et à une longueur d'onde correspondant au jaune orangé, ont l'impact le plus faible sur le règne animal, dans l'état actuel des connaissances.

Pour autant, l'éclairage artificiel répond à d'autres enjeux et besoins pour l'Homme (sécurité, confort, économie marchande, etc.), et il conviendra donc de tenir compte de l'ensemble de ces sujets dans une réflexion visant à réduire l'impact de l'éclairage sur la biodiversité.



2.5 MESURES DE FLUX, DE LA POLLUTION LUMINEUSE ET OBSERVATION DU CIEL NOCTURNE

2.5.1 Définition

Une définition de la pollution lumineuse a été donnée en introduction de ce document : « la pollution lumineuse est le rayonnement lumineux infrarouge, ultraviolet et visible émis à l'extérieur ou vers l'extérieur, et qui par sa direction, intensité ou qualité, peut avoir un effet nuisible ou inconfortant sur l'homme, sur le paysage ou les écosystèmes ».

À partir de cette définition, on voit qu'il peut exister différentes manières de mesurer cette pollution, selon qu'on s'intéresse à l'un, l'autre ou tout ou partie de ces critères (direction, intensité, qualité, intérieure, extérieure...). La présente étude n'a pas vocation à être exhaustive sur ces différentes méthodes.

2.5.2 Présentation de quelques méthodes d'évaluation de la pollution lumineuse

La méthode déployée par l'Association Française de l'Éclairage (AFE)

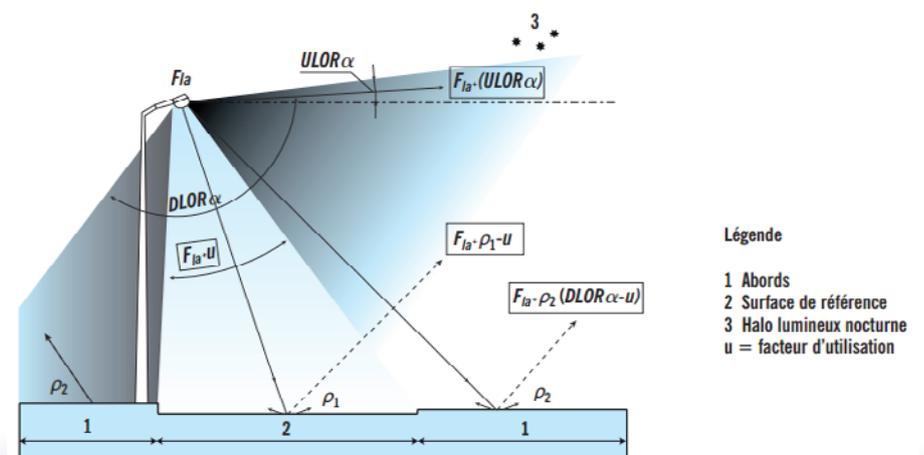
Cette approche d'évaluation des nuisances lumineuses (pour la partie liée aux nuisances atmosphériques) consiste à évaluer la lumière « perdue », c'est-à-dire la lumière émise mais dont une partie plus ou moins importante ne participe pas à l'objectif qui lui est assigné : éclairer un objet, une surface, etc. Cette approche, reprise dans une norme expérimentale XP X 90-013 s'attache cependant essentiellement à évaluer différentes solutions (projets neufs ou en rénovation) entre elles au regard de leur participation au halo lumineux.

Il s'agit d'un raisonnement fondé sur la conservation du flux lumineux. Cette méthode utilise les grandeurs des éclairagistes dans leurs projets d'éclairage.

Le critère de l'ULOR s'intéresse notamment à cette déperdition :

- définition de l'ULOR (Upward Light Output Ratio) : il représente le pourcentage de lumière émise au-dessus de l'horizontale en sortie du luminaire ;

REPRÉSENTATION SCHÉMATIQUE DES FLUX PERDUS PAR UNE INSTALLATION D'ÉCLAIRAGE (SUIVANT NORME EXPÉRIMENTALE XP90-013)



Source : Association Française de l'éclairage

- méthodologie d'évaluation des nuisances lumineuses des luminaires : la méthodologie utilisée en éclairagisme pour évaluer le « niveau de nuisances » potentielles d'une installation d'éclairage repose sur des notes de calculs et non des mesures in situ. Elle s'appuie sur les méthodes de calcul et de contrôle pour les calculs d'indicateurs qualitatifs l'UPF (Upward Flux max et min) et l'UFR (Upward Flux Ratio).

Il s'agit d'évaluer la contribution des installations d'éclairage par rapport à la lumière non utile voire éventuellement nuisible.

Pour le calcul de ces indicateurs, il est nécessaire de connaître certaines caractéristiques de l'installation d'éclairage :

- le flux lumineux émis (en lumen) ;
- le taux **ULOR** : représente la proportion de flux des lampes de tous les luminaires considérés qui est émise au-dessus du plan horizontal passant par les luminaires dans leur position d'installation sur le site étudié (ULOR = Upward Light Output Ratio) ;
- le taux **DLOR** : représente la proportion de flux des lampes de tous les luminaires considérés qui est émise en dessous du plan horizontal passant par les luminaires dans leur position d'installation sur le site étudié ;
- le facteur d'utilisation : représente le pourcentage du flux émis par la source lumineuse tombant sur la partie utile de la zone que l'on souhaite éclairer ;
- les facteurs de réflexion des revêtements recevant la lumière (ρ_1 pour la chaussée et ρ_2 pour les accotements).

Pour une application sur des installations existantes, en l'absence de données précises du fait de l'ancienneté des luminaires, il s'agit d'évaluer ces paramètres et de quantifier les quantités de flux perdus globalement à l'échelle des parcs d'éclairage public.

On pourra citer les configurations d'éclairage suivantes, chacune générant un flux lumineux plus ou moins important vers le ciel :

- **lanternes 4 faces** : les lanternes sont souvent montées en façade. Les réflexions de la lumière incidente sur les murs sont renvoyées en partie vers le ciel lorsque la lampe est montée verticalement dans la lanterne. Le phénomène est moindre si la lampe était montée horizontalement et encastrée dans un réflecteur.



Lanterne « de style » 4 faces :

- la première sans réflecteur et lampe verticale (forte nuisance)
- la seconde disposant d'un réflecteur (ULOR = 0)

- **luminaires boules** : diffusion du flux lumineux dans toutes les directions.

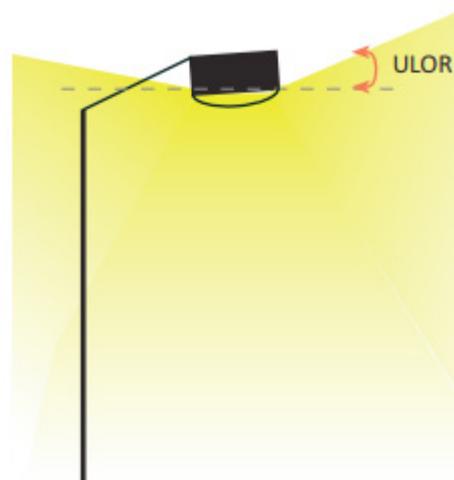


- **luminaires fonctionnels** : L'inclinaison d'une majeure partie des luminaires (inclinaison au-dessus de l'horizontale) participe fortement aux nuisances lumineuses directes, tout comme l'absence de vasque de protection et de réflecteur, ou la présence de vasques de protection saillantes (risque de réfraction des rayons incidents vers le ciel).

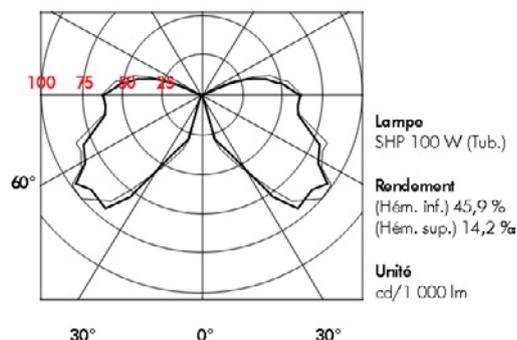
Luminaires fonctionnels, le premier sans réflecteur ni vasque de protection, le second incliné et avec une vasque pouvant réfracter une partie de la lumière vers le ciel (ULOR > 0)



SCHÉMA D'UNE VASQUE DE PROTECTION SAILLANTE GÉNÉRANT DES ÉMISSIONS AU-DESSUS DE L'HORIZONTALE



Source : « Charte en faveur d'un éclairage raisonné sur le territoire de Grenoble-Alpes Métropole »



Le taux ULOR de ce luminaire sans réflecteur est de 14,2 % (part hémisphère supérieure).



lumière émise vers le haut dans la frondaison des arbres associant la lumière émise directement par les luminaires cités ci-avant (absence de réflecteur) (ULOR) et celle réfléchi par les matériaux.

- **projecteurs posés sur le sol** : Ils envoient une partie importante du flux lumineux directement vers le ciel ou par réflexion sur les murs des bâtiments mis en lumière.



- **luminaires « indirects »** : la maîtrise des flux vers le haut en direction du plan de réflexion n'est que très rarement assurée en totalité, une partie de ce flux n'interceptant pas le miroir chargé de renvoyer la lumière vers le sol.

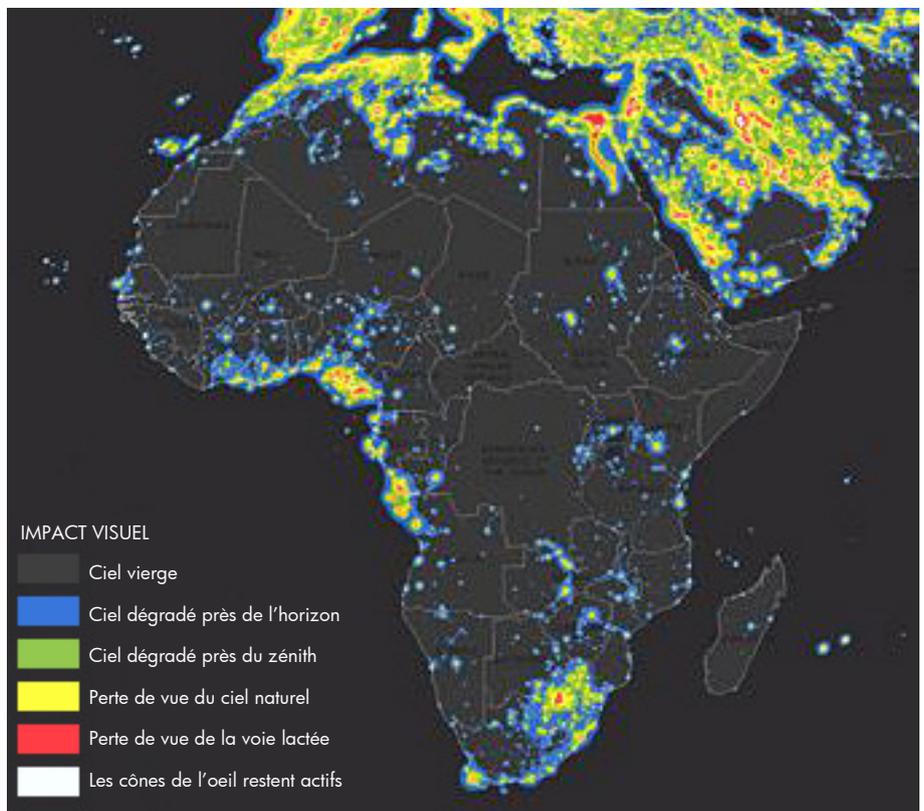


Lumières perçues depuis le ciel : l'Atlas mondial de la clarté artificielle du ciel nocturne

Avant que le sujet ne soit sérieusement étudié sur le volet biodiversité, le premier motif d'étude de la nuisance lumineuse était en relation avec l'observation des étoiles, l'émission terrestre d'éclairage artificiel nocturne réduisant le nombre d'étoiles visibles la nuit.

Une étude récente s'est concentrée sur ce sujet, en dressant un atlas mondial de la clarté artificielle du ciel nocturne (Falchi et al., 2016⁹). Celle-ci s'appuie sur l'exploitation d'images nocturnes satellitaires, et analyse la quantité de lumière perçue depuis l'espace, celle-ci étant corrélée à la lumière émise directement et indirectement (par réflexion notamment) depuis la Terre.

9. Falchi et al. , 2016 : The new world atlas of artificial night sky brightness, Science Advance, 2016.



Extrait de la carte mondiale de la clarté artificielle du ciel nocturne, centrée sur l'Afrique

Elle propose un ensemble de classes qui sont des extrapolations à partir de ces données, de la perception du ciel nocturne pour un observateur au sol. Cette échelle commence à un niveau de la clarté artificielle du ciel nocturne quasiment nul (moins de 1 % de la clarté artificielle du ciel nocturne en plus par rapport à la luminosité naturelle) et va jusqu'à des conditions de la clarté artificielle du ciel nocturne très importantes, dans lesquelles l'œil humain ne s'adapte plus aux conditions nocturnes. En effet, en conditions normales, notre vision nocturne mobilise les bâtonnets de l'œil, qui nous permettent de voir dans des conditions de faible éclairage, quand notre vision diurne mobilise les cônes de l'œil. En cas de forte clarté artificielle du ciel nocturne, l'étude considère que l'œil humain reste en condition de vision diurne.

On y apprend notamment que 83 % de la population mondiale et plus de 99 % des populations européennes et des États-Unis vivent sous un ciel pollué par l'éclairage artificiel. La voie lactée n'est perceptible que par un tiers de l'humanité, dont seulement 40 % des Européens et 20 % des nord-Américains. Le continent Africain, beaucoup moins développé, présente globalement un ciel beaucoup plus pur. Maurice et la Réunion sont facilement identifiables quant à elles du fait de leur niveau de développement et d'urbanisation avancé.

Il est cependant important de noter plusieurs limites à cette carte et à cette approche par rapport aux besoins de notre étude :

1. Cette analyse porte sur la lumière perçue depuis l'espace, à une distance telle qu'on peut la considérer comme de la lumière zénithale (émise à la verticale par rapport au sol). Cette lumière zénithale est composée de lumière émise directement (partie d'émission directe vers le ciel), mais également de la lumière réfléchi par le sol (routes et parkings, stades, surfaces en eau, etc.).

Cette lumière zénithale altère la perception des étoiles par l'homme, en contribuant notamment à l'effet de halo au-dessus des zones urbanisées, étant entendu que toute lumière émise ou réfléchi au-dessus de l'horizon contribue également à ce halo.

On peut cependant faire l'hypothèse que les espèces animales, de manière générale, ne perçoivent par contre pas ou peu la lumière émise à la verticale, de par leur position dans l'espace et l'axe habituel de leur vision. (Il est cependant probable que le phénomène de halo constitue également une gêne pour elles).

Cet « axe habituel de vision », qui constitue le champ visuel vertical, est réparti autour de l'horizontal, (pour illustration, l'homme possède à ce titre un champ visuel d'environ 130° dans l'axe vertical) que ce soit pour les espèces au sol ou volantes. De fait, la pollution lumineuse perçue par les espèces animales (et donc potentiellement perturbante pour celles-ci) est différente de celle analysée par l'étude de Falchi et. al.

En suivant cette hypothèse, ce serait donc la lumière émise autour de l'horizontal qui seraient la plus impactante pour la biodiversité, cette dernière étant cependant beaucoup plus complexe à évaluer de manière globale car non mesurable de manière systématique comme la lumière zénithale.

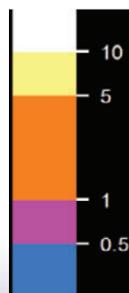


FLUX LUMINEUX ZÉNITHAUX ET AUTOUR DE L'HORIZONTALE ÉMIS PAR UN LAMPADAIRE TYPE « BOULE »

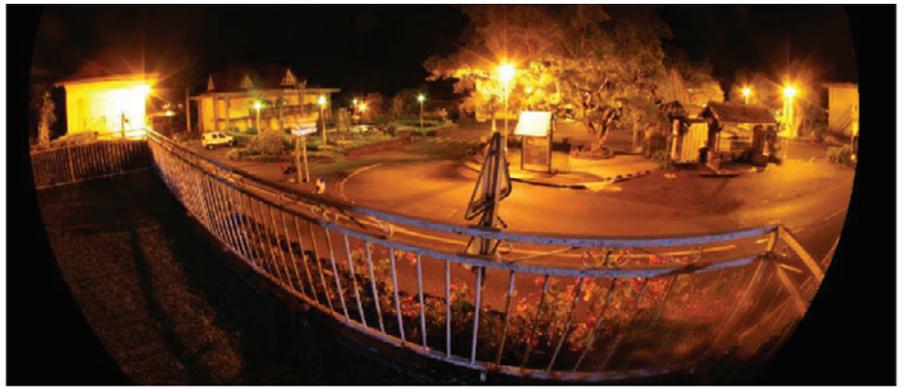
Il faut noter cependant la possibilité technique de réaliser des cartes de luminance (= cartographie du rayonnement lumineux perçu depuis un point de vue donné - cf. exemples ci-après), en choisissant des points de vue identifiés comme zones à enjeux. Exemple : depuis le bord de mer, dans l'axe d'une ravine, etc. La réalisation de cartes de luminance pour toutes les zones à enjeux est cependant peu réaliste considérant le nombre de sites concernés.



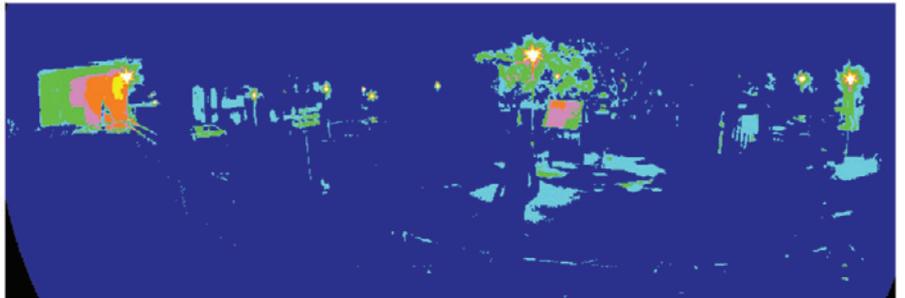
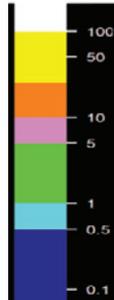
Photographie de la lumière perçue depuis un secteur de la plage de Saint-Pierre



Représentation en luminance (cd/m²) de cette lumière perçue



Place de la mairie de Salazie

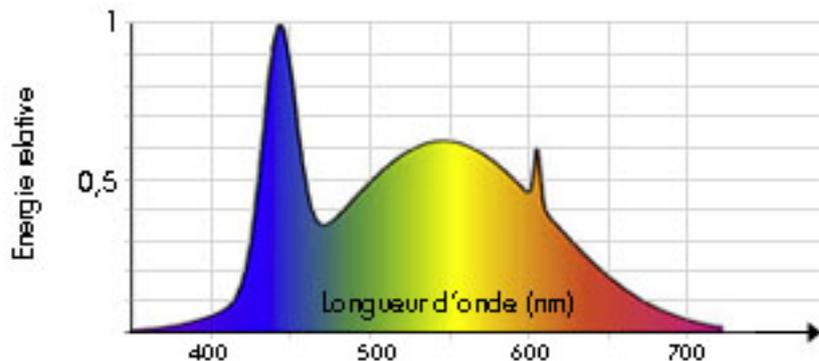


Carte des isoluminances correspondantes (en cd/m²)

2. la précision des photos satellitaires conduit à des pixels d'une largeur de 742 mètres de côté, ce qui efface de fait les zones lumineuses de petite taille et ne fait ressortir que les grandes zones éclairées de manière assez uniforme. Par exemple, un stade fortement éclairé de 100 m de long, s'il se trouve dans un environnement très sombre, ne ressortira pas de cette analyse de Falchi et. al, alors qu'il peut être assez impactant au niveau de la faune locale.

3. les capteurs photographiques utilisés pour la réalisation de ces images ne perçoivent et n'enregistrent pas les lumières émises à des longueurs d'ondes inférieures à 500 nm, et notamment le bleu, qui est très présent dans les lampes LED. Cette technologie étant en phase de fort développement, il ne sera pas possible d'évaluer ses effets polluants en termes d'émissions lumineuses zénithales avec la méthode utilisée dans cette étude (et avec la plupart des capteurs disponibles en orbite à ce jour). Or, ces longueurs d'ondes se diffusent beaucoup mieux dans l'atmosphère que celles correspondant à des lumières plus chaudes (effet Rayleigh¹⁰) et auront donc un potentiel de pollution lumineuse beaucoup plus important dans la vision scotopique (= vision activée dans les faibles conditions d'éclairage, mobilisant les bâtonnets) (effet 2,5 fois plus important d'après Falchi et.al pour une lampe LED blanche que pour une lampe à Sodium Haute Pression, à flux lumineux sortant équivalent).

SPECTRE LED BLANCHE : PIC DANS LE BLEU « CORRIGÉ » PAR DU PHOSPHORE



10. L'effet Rayleigh : les courtes longueurs d'ondes (proches du bleu) sont beaucoup plus diffusées dans l'atmosphère que celles proches du rouge. Les éclairages à lumière blanche, qui comportent une forte composante de lumière bleue, contribuent beaucoup plus à la pollution lumineuse que les éclairages oranges (International Dark-Sky Association. Visibility, Environmental, and Astronomical Issues Associated with Blue-Rich White Outdoor Lighting 2010).

L'échelle de Bortle

L'échelle de Bortle¹¹ établit une cartographie de la qualité du ciel noir (dark-sky scale). Elle hiérarchise la pollution lumineuse sur une échelle de mesures.

La méthode s'appuie sur une description de la « noirceur » et un indice de pureté du ciel de l'atmosphère, basées sur l'observation de différents objets astronomiques et des perturbations lumineuses (par estimation de la magnitude).

Classe	Titre	Echelle colorée	Plus petite magnitude visible à l'œil nu	Plus petite magnitude visible avec un télescope de 32 cm de diamètre
1	Excellent ciel noir	noir	7,6 - 8,0	19 au mieux
2	Ciel noir typique	gris	7,1 - 7,5	17 au mieux
3	Ciel « rural »	bleu	6,6 - 7,0	16 au mieux
4	Transition rural/periurbain	vert	6,1 - 6,5	15,5 au mieux
		jaune		
5	Ciel de banlieue	orange	5,6 - 6,0	15 au mieux
6	Ciel de banlieue éclairée	rouge	5,1 - 5,5	14,5 au mieux
7	Transition Banlieue/ville	rouge	4,6 - 5,0	14 au mieux
8	Ciel urbain	blanc	4,1 - 4,5	13,5 au mieux
9	Ciel de centre-ville	blanc	4,0 au mieux	13 au mieux

Il existe d'autres méthodes d'évaluation et de hiérarchisation de la qualité du ciel nocturne que nous ne pouvons toutes recenser dans le cadre de la présente étude.

11. John E. Bortle, Introducing the Bortle Dark-Sky Scale, Sky and Telescope, 2001

3. LE CONTEXTE ÉNERGÉTIQUE DE L'ÎLE DE LA RÉUNION

Les enjeux autour de l'éclairage urbain sur l'Île de La Réunion s'inscrivent dans un contexte énergétique plus général représentatif notamment des territoires ultra-marins non interconnectés. Le présent chapitre décrit donc ce contexte à partir de données issues de l'Observatoire de l'énergie, ainsi que les objectifs fixés pour l'Île à plus ou moins long terme dans le SRCAE. Un focus concernant l'éclairage public complète la photographie actuelle du contexte énergétique à La Réunion.

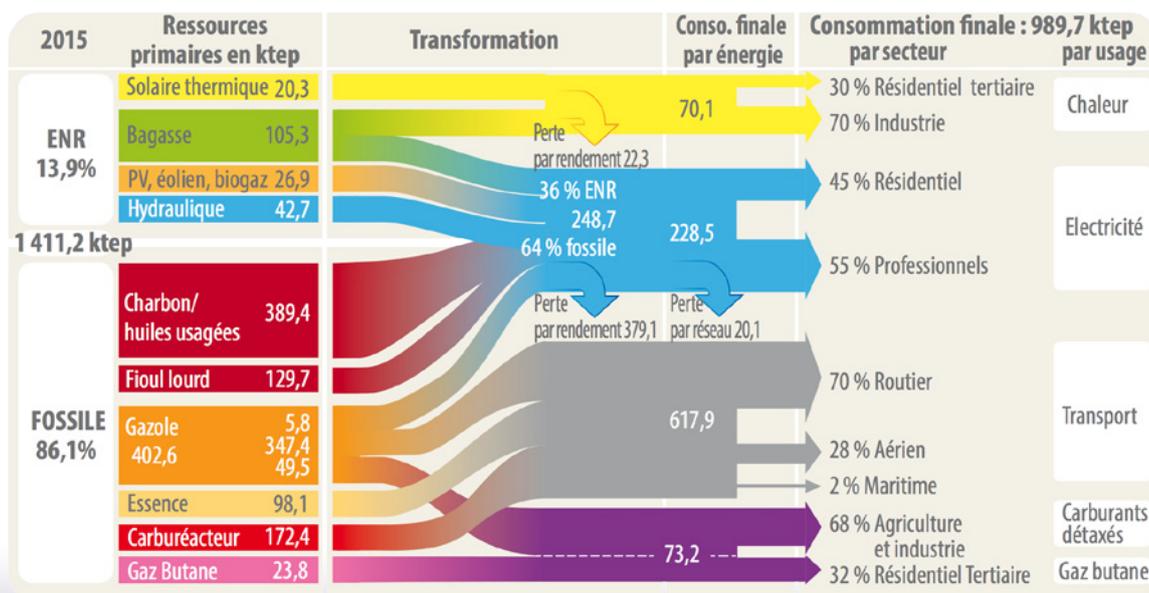
3.1 L'OBSERVATOIRE ÉNERGÉTIQUE DE LA RÉUNION

3.1.1 Le contexte énergétique général

Le contexte énergétique de l'Île de La Réunion est caractéristique du contexte insulaire ultramarin et rassemblé sous la terminologie de zones non interconnectées, l'éloignement géographique empêchant toute connexion à un réseau continental. De par leur insularité, l'approvisionnement énergétique est contraint et repose en grande majorité sur les importations d'énergie fossile.

Le défi pour ces territoires est ainsi permanent pour équilibrer production d'énergie et consommation, la production étant exclusivement locale sans recours au parc nucléaire comme en Métropole, ce qui engendre un coût carbone élevé de cette énergie produite.

BILAN ÉNERGÉTIQUE DE LA RÉUNION - ANNÉE 2015



Source : Observatoire Energie Réunion

Ainsi, La Réunion importe son énergie primaire fossile pour 86,1 % (équivalent au taux de dépendance = part des énergies fossiles dans la consommation d'énergie primaire) des 1 411,2 ktep (kilo-tonnes équivalent pétrole) (dont 2/3 de produit pétroliers), Les 13,9 % restant étant d'origine renouvelable en majorité grâce à la bagasse (7,5 %).

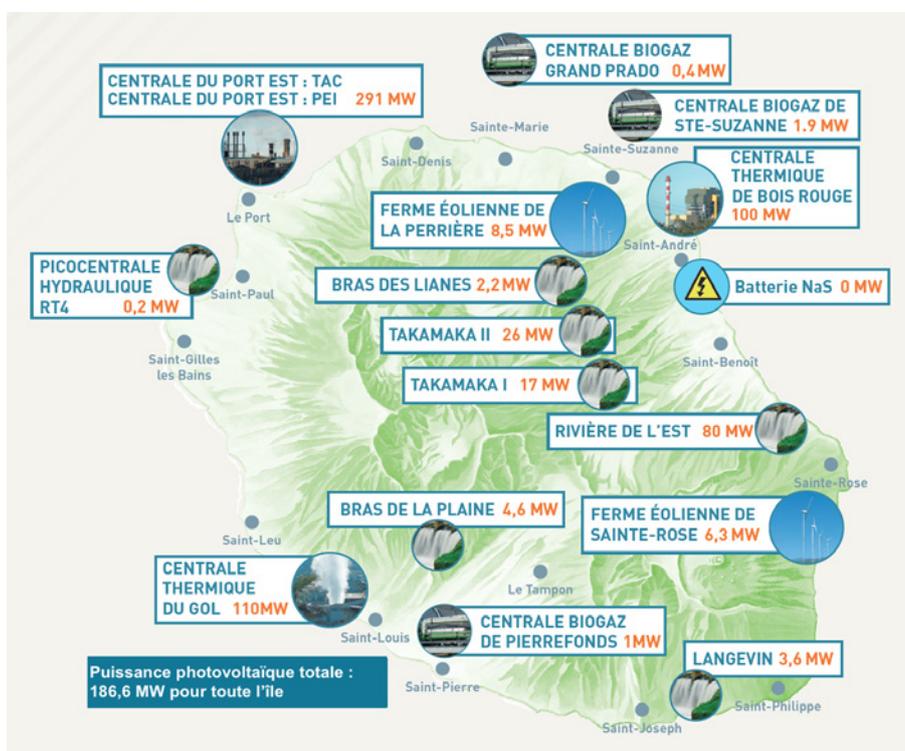
2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
84,7 %	85,7 %	85,3 %	84,6 %	85,0 %	87,1 %	86,8 %	87,4 %
2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
87,1 %	87,7 %	87,5 %	88,3 %	87,2 %	86,2 %	86,8 %	86,1 %

On pourra noter que ce taux de dépendance est revenu en 2015 à un niveau inférieur à ce qu'il était en 2005.

3.1.2 La production d'électricité sur l'île de La Réunion

La carte ci-après identifie les différents sites de production d'électricité à La Réunion.

LOCALISATION DES SITES DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ ET CAPACITÉ DE PRODUCTION 2015
Puissance nominale mise à disposition sur le réseau au 31 décembre 2015 : 840,3 MW



Source : EDF/Albioma Br/Albioma Gol - Auteur : OER

FAITS MARQUANTS DE L'ANNÉE 2015

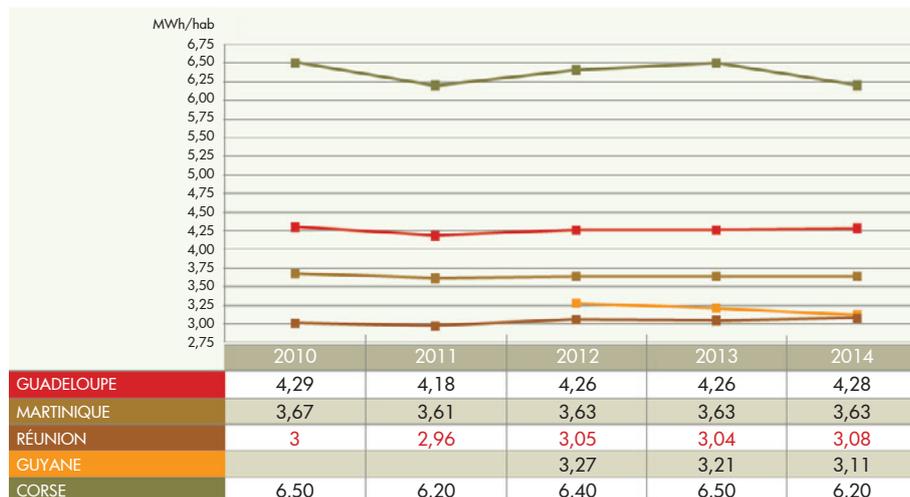
- Environ 36 % de la production électrique est réalisée par les énergies renouvelables à La Réunion. On constate une augmentation, par rapport à 2014, de 10,7 % de la production électrique à partir des EnR.
- Cette augmentation s'explique principalement par l'augmentation de la production à partir de l'hydraulique (+16,6 % entre 2014 et 2015) mais également par l'augmentation de +7,3 % de la production à partir de la bagasse et de +4,6 % de la production à partir des autres EnR (PV, éolien et biogaz).

3.1.3 La consommation d'électricité à La Réunion

En énergie finale consommée (989,7 ktep), les transports représentent 62,4 % et l'électricité 23,1 % (228,5/ 989,7 ktep) soit une consommation électrique moyenne de 3,18 MWh par habitant sur l'Île de La Réunion, tous secteurs confondus (résidentiels, tertiaires...) (Données 2015).

Le secteur résidentiel est le plus consommateur d'électricité (46 %) devant le secteur tertiaire (32 %) et l'industrie (16 %).

COMPARAISON PAR TERRITOIRE ULTRA-MARIN/INSULAIRE DES CONSOMMATIONS ÉLECTRIQUES PAR HABITANT (MWH/HAB) (DONNÉES 2010/2014)



Source : OER

On peut constater que la consommation électrique par habitant sur l'Île de La Réunion est la plus faible des différents contextes insulaires, au niveau de la Guyane mais loin devant Guadeloupe et la Corse (référence données Métropole 2014 : 7,16 MWh/hab).

La part de l'éclairage public (cf. tableau) intégrée au secteur tertiaire, représente ainsi seulement 1,34 % de la consommation électrique totale.

TABLEAU DE RÉPARTITION DES CONSOMMATION ÉLECTRIQUE DE L'ÎLE DE LA RÉUNION PAR SECTEUR D'ACTIVITÉ

<	% de la consommation électrique totale	Sous-secteur	Chiffre	Unité
Industrie	16,2%			
			1 402,42	kWh/habitant
			3 627,45	kWh/abonné
Résidentiel	45,6%		3 433,29	kWh/logement
			31,37	kWh/m ² de surface totale
			344,66	kWh/élève.an
		Enseignement	362,37	kWh/élève.an dans le public
			285,69	kWh/élève.an dans le privé
			746,58	kWh/lycéen.an dans le public
			228,41	kWh/collégien.an dans le public
		Eclairage public	1,34	% (part de la conso. « EP » dans la conso. Totale)
			41,9	% (part de la conso « EP » dans la conso. Collectivités)
			6 038,03	kWh/km de route
			426,75	kWh/ points lumineux d' « EP »
Tertiaire	31,8%	Bureau	5,7	% (part de la conso. « Adm publiques » dans la conso. totale tertiaire)
			7,2	% (part de la conso. « Grands magasins et grandes surfaces » dans la conso. électrique totale)
		Grands magasins et grandes surfaces	3,1	% (part de la conso. « Hypermarchés et supermarchés » dans la conso. électrique totale)
			43,6	% (part de la conso. « Hypermarchés et supermarchés » dans la conso. électrique totale « Grands magasins et grandes surfaces »)
			111,22	kWh/habitant
		Santé	1 339 236,23	kWh/centre hospitalier
			19 505,13	kWh/ lits et places d'accueil
Agriculture	0,5%			
Indéterminé	5,9%			

Source : OER

À l'échelle de La Réunion, ce pourcentage n'est que très peu significatif en termes d'enjeux prioritaires. Cette proportion devient cependant beaucoup plus importante à l'échelle de la consommation électrique des communes (soit 41,9 % en 2015) à l'instar de ce qui est constaté en Métropole, confirmant ainsi que l'éclairage public représente une charge lourde pour les collectivités qui en ont la gestion et tout l'intérêt qu'elles ont à réduire fortement cette consommation électrique.

En termes d'émissions de GES, la consommation électrique produit par contre le même volume de GES que les transports (47,3 %) pour une consommation 3 fois moins importante. Le ratio retenu d'émissions de GES par kWh est de 720 g sur l'Île de La Réunion (90 g pour l'éclairage public en Métropole - Source Ademe).

Ces indicateurs mettent en évidence le coût environnemental de la production d'énergie électrique sur l'Île de La Réunion et tout l'intérêt que peut représenter la maîtrise de la consommation électrique pour les collectivités en charge des parcs d'éclairage public.

3.1.4 Focus sur la consommation de l'éclairage public

Les données issues du bilan énergétique de La Réunion (édition 2016 - cf. tableau précédent) permettent de cerner quelques grandeurs représentatives de l'éclairage public en 2015 (données issues des relevés de consommations transmis par EDF) :

- consommation totale électrique : 2 657,1 GWh ;
- part de l'éclairage public : 1,34 %
 - soit **35,6 GWh** pour l'ensemble des communes de l'île,
 - soit **42,2 kWh/habitant** (85 kWh/hab en Métropole - 2012).

(Enquête ADEME - TNS SOFRES - 2005)

La consommation moyenne par habitant du poste éclairage public sur l'Île de La Réunion est plus réduite que celui constaté en moyenne en Métropole, ce qui démontre les efforts déjà réalisés pour limiter les consommations électriques de ce poste en conséquence du contexte insulaire caractérisé par une production d'électricité en majeure partie à partir d'énergie fossile.

En termes d'émissions de GES, cependant, la tendance est inversée par rapport à la Métropole au regard du taux de rejet GES du kWh réunionnais (720 g/kWh/an contre 90 g/kWh/an), soit par habitant sur l'Île, un taux de rejet de 30,4 kg GES/hab/an contre 7,7 kg/hab/an en Métropole.

Consommation moyenne par point lumineux (PL) : 426,75 kWh :

- soit un nombre de points lumineux proche de 83 500 ;
- soit un ratio de **0,10 PL/habitant**, ce qui situe cet indicateur au niveau des grandes agglomérations de Métropole (> 50 000 hab), représentatif de parcs d'éclairage resserrés au sein de périmètres urbains denses.

Évaluation de la puissance moyenne installée :

- si on retient une durée d'allumage moyenne annuelle de l'ordre de 3 300 h (moyenne nationale Métropole - Ademe 2012), à partir de la consommation annuelle éclairage public, on peut évaluer les indicateurs suivants :

- puissance moyenne installée pour l'éclairage public : **10,79 MW** ;
- puissance moyenne par point lumineux (base 83 500 PL) : **129,2 W**.

Ce dernier indicateur permet d'envisager de fortes économies énergétiques dans le cadre d'applications de programmes de remplacement des lampes existantes de fortes puissances par des puissances plus faibles mais intégrées à des équipements plus efficaces.

Coût d'un kWh « tarif bleu » à l'Île de La Réunion : 0,1043 € (hors CSPE).

Coût de l'abonnement tarif bleu < 6kVA : 75 €.

Maîtrise des durées d'allumage/extinction Cycle jour/nuit

La durée moyenne annuelle de la période nocturne sur l'Île de La Réunion se situe autour de 4 350 h (Source : ptaff.ca - Ile Maurice). En Métropole, par comparaison, elle se situe autour de 4 300 h (Source : ptaff.ca - Paris). On peut ainsi considérer la durée moyenne annuelle d'allumage des installations d'éclairage équivalente à celle évaluée en Métropole (3 300 h/an).

ÉVOLUTION DE L'USAGE DE L'ÉCLAIRAGE PUBLIC EN MÉTROPOLE

	2000	2005	2012
Point lumineux par km de voie éclairée	33	35	33
KW par point lumineux	0,17	0,17	0,16
Heures d'utilisation *	3 568	3 469	3 305
% du parc en lampes sodium	50 %	56 %	66 %

* Rapport entre la consommation et la puissance souscrite en intégrant la signalisation

Source : ADEME « Energie et patrimoine communal - Enquête 2012 »

Nous ne disposons d'aucune autre information quant aux dispositifs existants de commande des allumages/extinctions de l'éclairage public. Le remplacement des cellules photoélectriques par des horloges astronomiques est proposé dans le cadre du label « Pétrels protégés » mais le taux de remplacement n'est pas connu a priori.

L'énergie sur l'Île de la Réunion en quelques chiffres

- taux de dépendance aux énergies fossiles de 86,1 % ;
- une consommation électrique par habitant plus de 2 fois inférieure à celle de la Métropole- un coût carbone cependant 8 fois plus élevé de cette consommation électrique du fait de sa production par énergie fossile majoritairement (720 g/kWh contre 90 g/kWh en Métropole) ;
- la part de la consommation électrique des collectivités dédiée à l'éclairage public est de 41,9 % ;
- pour l'ensemble de l'Île, cette consommation ne pèse cependant que pour 1,34 % de la consommation électrique totale ;
- une consommation moyenne par habitant dédiée à l'éclairage public inférieure de moitié à la Métropole (42,2 kWh contre 85 kWh/hab.) ;
- une puissance moyenne par lampe proche (129,2 W/lampe) de celle de la Métropole (130 W/lampe).

Impact potentiel des conditions d'ensoleillement sur l'île de La Réunion

Les conditions météorologiques peuvent impacter les durées d'allumage des installations d'éclairage urbain lorsque la couverture nuageuse est très dense sur une durée annuelle importante, la conséquence étant un allumage anticipé via les cellules photoélectriques (« lumar ») de l'éclairage en période diurne.

Remarque : Ce phénomène a pu être observé à plusieurs reprises à l'occasion de la mission de terrain, notamment sur des luminaires anciens, avec en conséquence un allumage intervenant parfois plus de 30 mn avant le coucher du soleil.

3.2 LE SCHÉMA RÉGIONAL CLIMAT AIR ÉNERGIE (SRCAE) DE LA RÉUNION

En complément de l'état des lieux présenté ci-avant concernant le contexte énergétique de l'île de La Réunion, la présente étude s'est attachée à analyser les documents stratégiques établis sur le Territoire définissant les objectifs fixés en la matière. C'est notamment le cas du Schéma Régional Climat Air Énergie (SRCAE - Edition 2014) établi en 2013 et fixant des objectifs à l'horizon 2030.

3.2.1 Objectifs du SRCAE

Il a pour objectif de définir des orientations stratégiques en matière de qualité de l'air et de lutte contre les changements climatiques, et se décline à l'échelle de La Réunion selon :

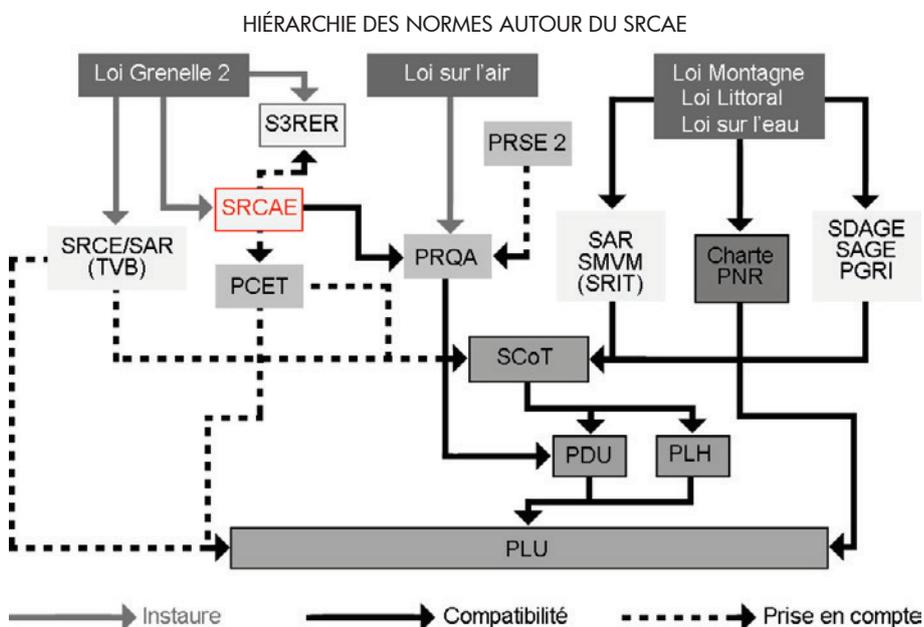
- l'engagement pris par la France et l'Europe du Facteur 4 (réduction par 4 des émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2050) et du Paquet Énergie-Climat (3 fois 20 à 2020). A ce titre, il définit notamment les objectifs régionaux en matière de maîtrise de l'énergie ;
- les orientations permettant d'atteindre les normes de qualité de l'air mentionnées à l'article L. 221-1 du Code de l'environnement, de prévenir et de réduire la pollution atmosphérique et d'en atténuer les effets ;
- les objectifs à atteindre en matière de valorisation du potentiel énergétique renouvelable et de récupération, l'objectif fixé pour l'Outre-Mer dans la loi Grenelle 1 (article 56) étant de 50 % d'énergies renouvelables dans la consommation finale dès 2020, et **l'autonomie énergétique à horizon 2030.**



Quant aux autres orientations, elles sont regroupées en deux volets, « l'Atténuation » et « l'Adaptation », qui seront ensuite déclinées de façon opérationnelle via les **Plans Climat Énergie Territoriaux (PCET)** que la loi Grenelle a rendu obligatoire pour les collectivités de plus de 50 000 habitants. A La Réunion, 13 collectivités sont concernées (Conseil Régional, Conseil Départemental, 5 Établissements Publics de Coopération Intercommunale EPCI, 6 Communes).

De manière générale, le SRCAE se doit de mettre en cohérence les objectifs nationaux et internationaux avec les politiques publiques locales en matière d'environnement et d'aménagement à travers notamment les documents d'urbanisme.

- PRQA : Plan régional pour la Qualité de l'Air
- PRSE : Plan régional Santé-Environnement
- PNR : Parc national de La Réunion
- PGRI : Programme de Gestion du Risque Inondation
- PLH : Plan Local de l'Habitat
- PLU : Plan Local d'Urbanisme
- PCET : Plan Climat Énergie Territorial
- PCER : Plan Climat Énergie Régional
- PDU : Plan de Déplacement Urbain
- SAGE : Schéma d'Aménagement et Gestion des Eaux
- SAR : Schéma d'Aménagement Régional
- SCoT : Schéma de Cohérence Territorial
- SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et Gestion des Eaux
- SMVM : Schéma de Mise en Valeur de la Mer
- SRCAE : Schéma Régional Climat Air Énergie
- SRCE : Schéma Régional de Cohérence Écologique
- SRE : Schéma Régional Éolien
- SRIT : Schéma Régional des Infrastructures de Transports
- S3RER : Schéma Régional de Raccordement au Réseau des Énergies Renouvelables
- TVB : Trame Verte et Bleue



L'entrée en vigueur de la loi NOTRe portant nouvelle organisation territoriale de la République crée l'obligation de produire un nouveau schéma de planification, dénommé **SRADDET** (ou **Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires**) qui fusionnera plusieurs documents sectoriels ou schémas existants dont le SRCAE et le PCET. Le schéma ci-dessus n'intègre pas cette nouvelle architecture d'élaboration des documents de planification.

3.2.2 Diagnostic du SRCAE

Les éléments rapportés ci-après sont extraits du SRCAE de l'île de La Réunion (édition 2014). Ils ont pour objectif d'illustrer le contenu du document stratégique tout en ne retenant que des éléments synthétiques et en lien avec la thématique énergétique qui intéresse la présente étude.

L'énergie

La production d'électricité repose sur un mix d'infrastructures mêlant thermique et énergies renouvelables, dont la ressource la plus exposée face aux aléas majeurs (inondation, mouvement de terrain, cyclone, éruption volcanique...) est l'hydraulique.

Les principaux enjeux restent la capacité de l'île à maîtriser la demande en énergie et à diminuer la vulnérabilité du réseau électrique face aux événements extrêmes.



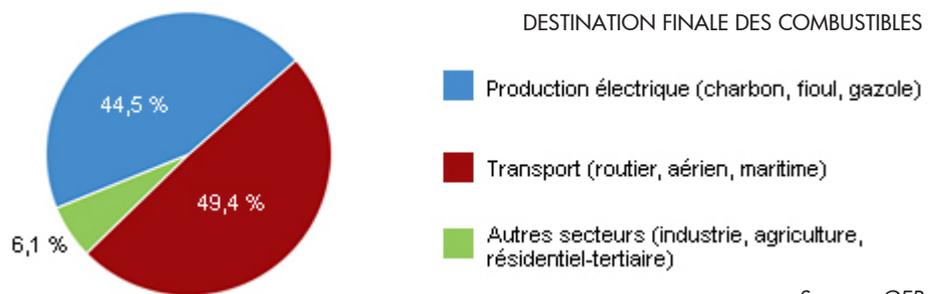
À La Réunion, la consommation d'énergie électrique se répartit en 3 secteurs : le résidentiel et le tertiaire, qui constituent plus de 80 % de la consommation totale, et l'industrie. L'éclairage public est intégré au secteur tertiaire et à la consommation globale des collectivités.

Le SRCAE n'identifie cependant pas d'éléments spécifiques sur le poste d'éclairage public (intégré dans la consommation totale électrique des Collectivités). On a pu voir précédemment, extrait de l'OER 2015, que cette part de l'éclairage public atteignait 41,9 % de la consommation des communes.

Les émissions de GES

Selon l'IEGES 2010, les deux principaux secteurs d'émissions sont :

- l'industrie de l'énergie, en particulier la consommation de combustibles fossiles pour la production électrique : 44 % ;
- les transports, notamment la consommation de carburants fossiles dans les transports routiers et aériens : 39 %.



Source : OER

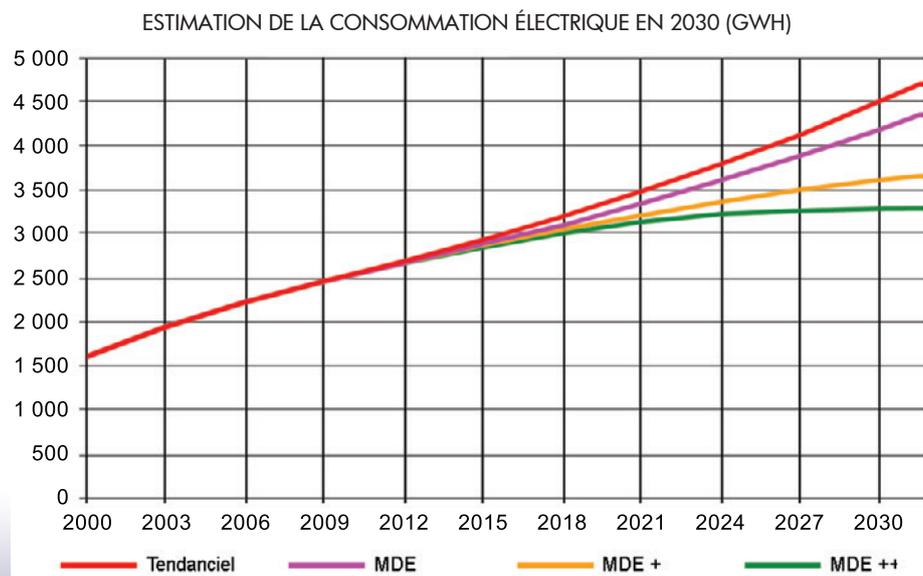
Cela confirme que les émissions réunionnaises sont d'abord liées à la consommation d'énergies fossiles, **notamment pour la production électrique.**

Cela renforce l'intérêt d'une réduction forte des consommations électriques intégrant entre autres l'éclairage urbain.

3.2.3 Orientations du SRCAE

Les objectifs du SRCAE affichés en matière d'économies d'énergie

Le SRCAE identifie des scénarios d'évolution de la consommation électrique à l'horizon 2030 suivant des hypothèses de Maîtrise de la Demande Energétique (MDE, MDE+ et MDE++) plus ou moins ambitieuses.



Les engagements affichés dans le SRCAE

Energie

Enjeu « Energie » :

Aller vers l'autonomie électrique de La Réunion en 2030 grâce à une politique volontariste de maîtrise de la consommation de l'énergie et de développement des énergies renouvelables garanties dans un contexte de forte augmentation de la population.

Si la question de l'éclairage public n'est pas spécifiquement citée dans le SRCAE et dans les pistes de réduction des consommations électriques, elle est directement concernée par des propositions dans lesquelles l'éclairage public offre un potentiel d'économies d'énergie, à son échelle.

Une attention particulière sera portée sur :

- le **recours aux énergies renouvelables de substitution** telles que les énergies de réseau froid tel que le pompage d'eau de mer en eau profonde pour le rafraîchissement - SWAC Sea Water Air Conditioning ou le développement de réseaux de froid issus de la récupération de chaleur seront favorisées d'ici 2020.
- les **réseaux électriques intelligents** permettant à la fois la maîtrise de la consommation d'électricité et le **recours à des moyens de production décentralisée renouvelable** sera développée sur plusieurs périmètres géographiques.

Emissions de Gaz à Effet de Serre (GES)

Enjeu « Gaz à Effet de Serre (GES) » :

Réduire les émissions de CO₂ liées à la combustion d'énergies fossiles dans les secteurs de la production électrique et du transport qui représentent l'essentiel des émissions de GES de La Réunion.

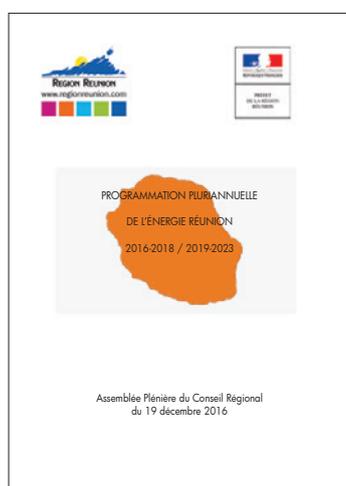
La réduction des émissions de GES et la Maîtrise de la Demande en Energie (MDE) :

- réduire les émissions de GES de 10 % en 2020 par rapport à 2011 ;
- améliorer l'efficacité énergétique électrique de 10 % en 2020 et de 20 % en 2030 par rapport à l'évolution tendancielle, soit réduire l'intensité énergétique électrique (exprimée en consommation d'énergie électrique/PIB en € constant 2000) de 19,1 tep/M€ en 2010 à 18,1 tep/M€ en 2020, et à 17,8 tep/M€ en 2030.

3.3 PROGRAMMATION PLURIANNUELLE DEL'ENERGIE (PPE) DE LA RÉUNION

En complément de ces éléments extraits du SRCAE, le lecteur pourra se référer à la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE) de la Réunion, valable sur la période 2016-2023 :

- article sur le projet de PPE, cf. le III.3 - Objectifs de maîtrise de la demande d'énergie électrique, pour le tertiaire, où est mentionné : « la rénovation de l'éclairage public » :
<http://www.reunion.developpement-durable.gouv.fr/publication-du-projet-de-programmation-a617.html>
- communication sur la publication des PPE, cf. partie sur les ZNI (Zones Non Inter-connectées, paragraphe sur La Réunion dont la PPE a été publié le 14/04/17 au JORF :
<http://www.developpement-durable.gouv.fr/programmation-pluriannuelle-energie#e2>
- décret 2017-530 du 12 avril 2017 relatif à la programmation pluriannuelle de l'énergie de La Réunion :
<http://www.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/PPE%20Reunion%20-%20Rapport.pdf>



Ce document récent reprend globalement les indicateurs identifiés ci-dessus et identifie les actions à mener dans les années à venir pour réduire la facture énergétique du poste éclairage public des collectivités.

Ces mesures sont reprises ci-après :

- un diagnostic des installations d'éclairage public des 24 communes ;
- l'élaboration et la promotion d'un guide « éclairons juste La Réunion » ;
- une campagne de remplacement des 15 000 luminaires Ballon Fluo « BF » dont la fabrication est interdite depuis avril 2015 par des lampes moins énergivores et plus respectueuses de l'environnement. Pour exemple une lampe de 100 W sodium haute pression « SHP » éclaire 2 fois mieux qu'une lampe BF de 125 W.

Des mesures pérennes d'aides aux communes en faveur de :

- la mise en sécurité électrique des installations (armoires, réseaux et candélabres) ;
- le « relanternage » avec changement de lampe pour lutter contre les pollutions lumineuses et une meilleure efficacité photométrique des lanternes ;
- l'efficacité lumineuse des sources en remplaçant les ballasts ferromagnétiques par des ballasts électroniques > jusqu'à 10 % d'économie par lampe et allongement de leur durée de vie ;
- la variation à l'armoire de commande > jusqu'à 12 % d'économie d'énergie ;
- l'installation d'équipement d'optimisation des horaires de fonctionnement : horloges astronomiques, capteurs crépusculaires... ;
- une mutualisation des investissements et de la gestion des installations d'éclairage public permettant des économies d'échelle et une maintenance préventive efficace.

Ce plan pluriannuel d'aides estimé à 32 000 000 € (400 € / point lumineux) permettrait d'économiser jusqu'à :

- 15 000 tonnes de CO₂ par an ;
- 20 000 MWh par an ;
- et au moins 30% de la facture d'électricité des communes.

3.4 CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DE L'ÉCLAIRAGE URBAIN SUR L'ÎLE DE LA RÉUNION

En l'absence d'études globales descriptives des parcs d'éclairage public sur L'Île de La Réunion, les descriptions suivantes sont issues des observations et analyses réalisées à partir des données photographiques aériennes et des relevés terrain réalisés lors de la campagne de diagnostics menée par le Cerema en septembre 2016. Ce paragraphe s'attache à qualifier les grandes tendances du parc d'éclairage et notamment la prédominance du Sodium Haute Pression (SHP) dans les secteurs urbanisés sur l'Île de La Réunion (66 % en Métropole - Données 2012¹²). Il ne traite pas des aspects quantitatifs (nombre de points lumineux, niveaux d'éclairement) ou qualitatifs (nuisances potentielles, éblouissement...) traités dans un chapitre ultérieur.

L'observation des cartes aériennes nocturnes, fournies par la SEOR, permet de mettre en évidence la prédominance des sources SHP sur l'île (couleur jaune-orangée). Les sources « blanches » sont plus concentrées sur l'éclairage des activités sportives nocturnes (stades et boulodromes, équipés en général par des lampes à technologie aux Iodures Métalliques) ou localement pour des sites résidentiels ou de loisirs (vraisemblablement des « boules » à vapeur de mercure, vouées à être remplacées).

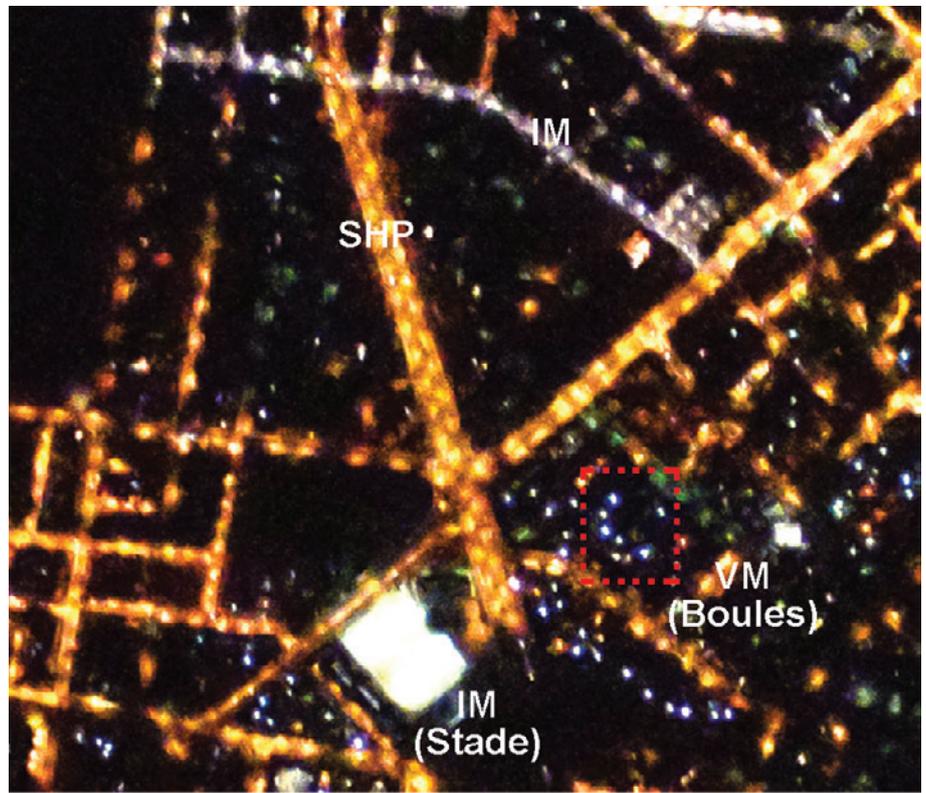
Seules quelques voies urbaines ou rues, récemment rénovées, présentent également des sources « blanches », soit avec des lampes aux Iodures Métalliques ou de lampes de type « Cosmo » (lampe de la famille des SHP mais plus « blanche » avec un meilleur rendu des couleurs) et de manière très isolée, par des LED.

3.4.1 Analyse de l'éclairage sur 5 communes Exemple de la ville du Port

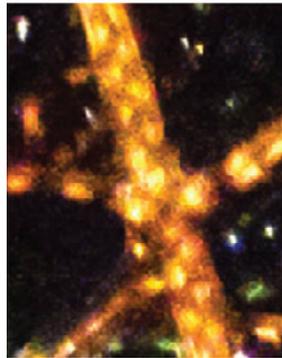


Ville du Port - Prédominance des lampes SHP (éclairage « fonctionnel ») - Source : SEOR

12. Energie et patrimoine communal – enquête 2012 - Ademe.



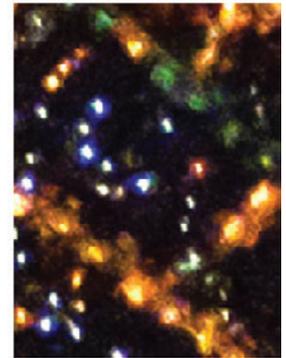
Zoom sur un secteur central du Port - Source : SEOR



SHP



Iodures Métalliques (IM) (stade, quelques voies ponctuelles)



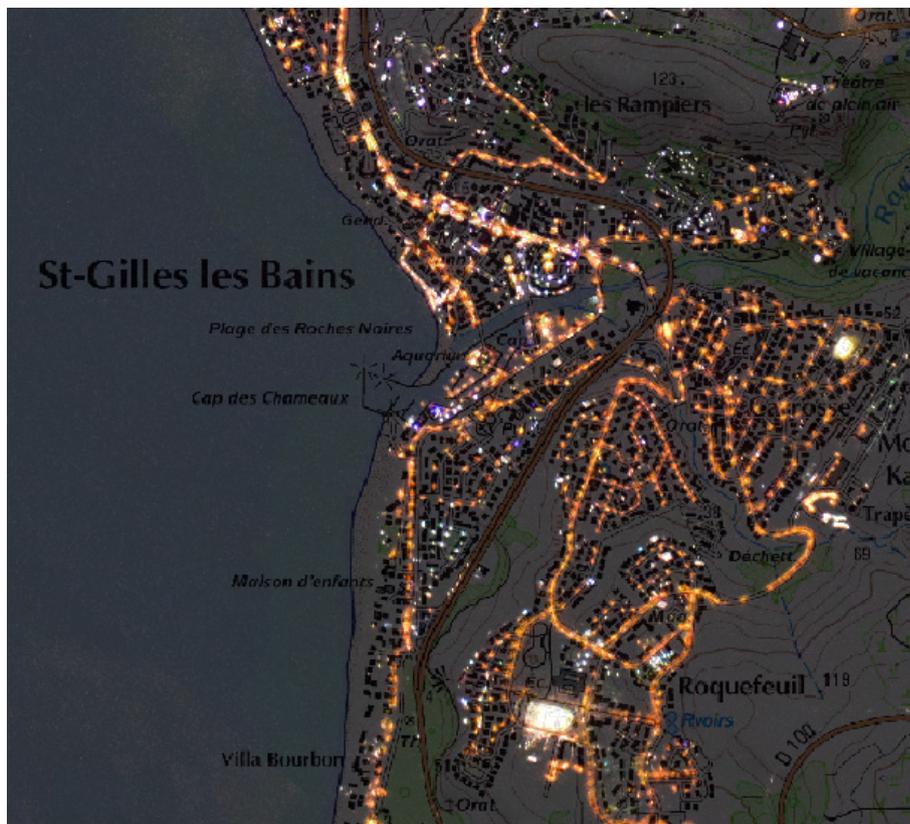
Vapeur de mercure (VM)



N7 - Ville du Port - Voies équipées en éclairage exclusif SHP

Les lampes VM auront a priori disparu de l'éclairage public de la ville du Port à compter de début 2017 (source : Services techniques de la ville) clôturant ainsi la fin des remplacements de cette technologie obsolète et énergivore.

Exemple de la ville de Saint-Gilles-les-Bains

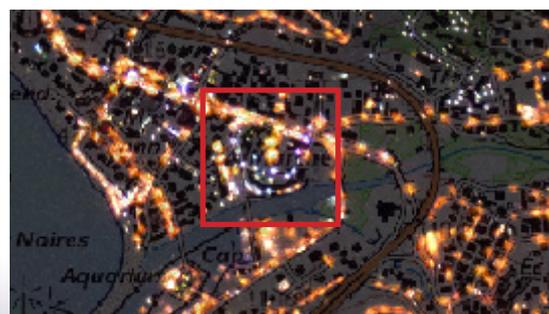


Saint-Gilles-les-bains - Source : SEOR



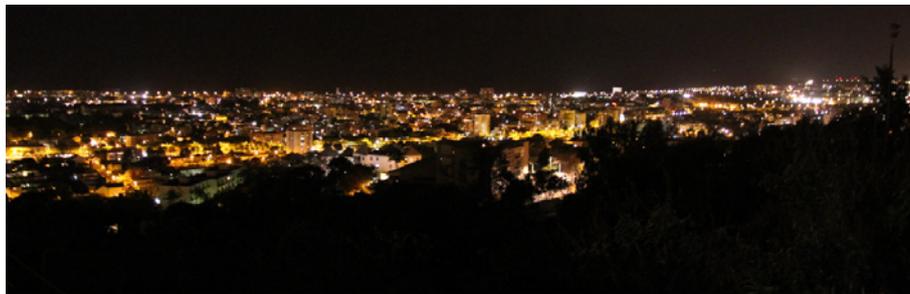
Saint-Gilles-les-Bains - Avenue de la mer – Voirie équipée en éclairage exclusivement SHP

Ponctuellement, on peut constater, notamment sur les parcs privés, le maintien de lampes Vapeur de Mercure (exemple d'éclairage extérieur privatif : Hôtel « Les Palmes » à Saint-Gilles-les-Bains). La question de leur maintenance lorsque les stocks de sauvegarde seront épuisés est posée aujourd'hui.



Présence de sources Vapeur de Mercure dans des parcs privés de l'île

Exemple de la ville de Saint-Denis



Vue d'ensemble de la ville de St Denis vers 19h30 en septembre 2016 (prédominance de la lumière « jaune » caractéristique du SHP). Les secteurs à droite de l'image, fortement éclairés en lumière « blanche » sont les installations sportives ou de loisirs ainsi que des voies rénovées récemment et équipées de sources lumineuses Métalliques



Photo aérienne du centre de St Denis - Source: SEOR



Exemple de rues équipées en SHP : Rue de la Providence (à gauche) et en COSMO - Rue Notre Dame de la Trinité (à droite) à Saint Denis

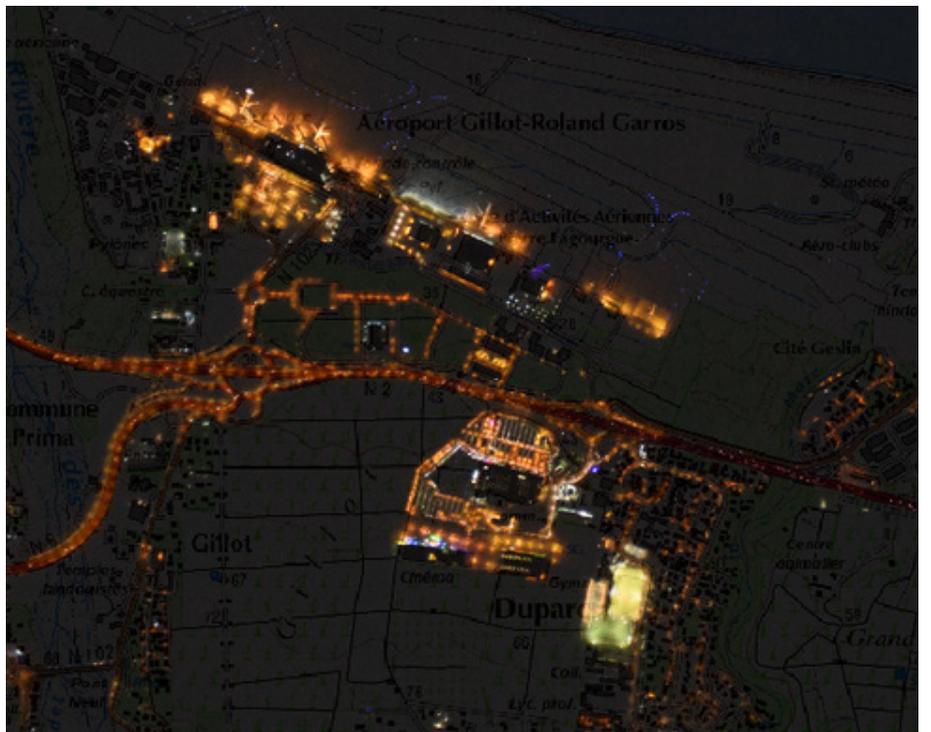


Photo aérienne de l'aéroport Roland Garros (SHP) et zone commerciale - Source : SEOR



Aéroport : éclairage de grande hauteur des aires de stationnement des avions en SHP



Exemple de la ville de Saint-André

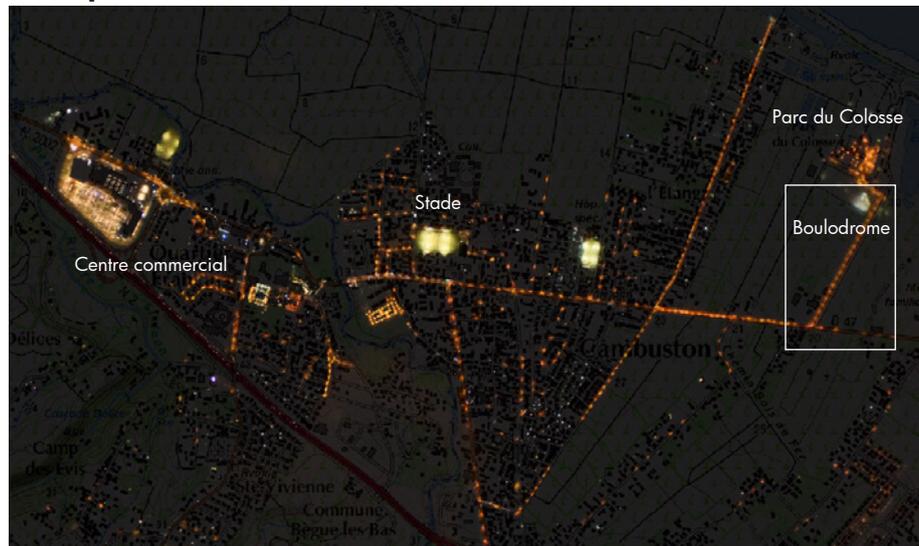
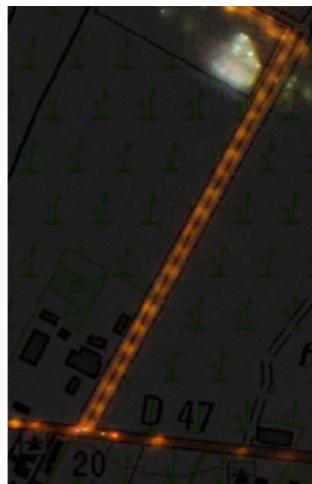


Photo aérienne de Saint-André : Forte prédominance des lampes SHP (secteur « Quartier Français ») sauf stade et boulodrome du Parc du Colosse (lampes IM) - Source : SEOR



Voirie d'accès au Parc du Colosse : Luminaires équipés en SHP



Boulodrome du Parc du Colosse : projecteurs en lumière « blanche » (IM)

Exemple de la ville de Saint-Pierre



Photo aérienne de la ville de Saint-Pierre (la restitution des éclairages est partielle sur Saint-Pierre en raison d'une couverture nuageuse lors des prises de vues nocturnes) - Source : SEOR



Front de mer de Saint-Pierre éclairé en SHP (avec en arrière-plan l'espace bouldrome éclairé en IM)



Saint Pierre - Boulevard Hubert Delisle
Éclairage SHP



Partie du front de mer de St Pierre rénové en LED
Éclairage LED lumière froide

3.4.2 Les typologies d'éclairage représentatives

Ce chapitre présente plusieurs typologies d'éclairage urbain représentatives des installations existantes, sans préjuger de l'efficacité lumineuse des configurations en l'absence de données précises notamment sur les puissances de lampes installées. Il s'agit là spécifiquement d'un recensement non exhaustif mais représentatif des relevés faits lors de la mission terrain.

Les configurations les plus fréquemment rencontrées dans les communes de l'île, à l'instar des constats que l'on peut faire en Métropole, sont majoritairement :

- des **voies urbaines équipés de points lumineux dits « fonctionnels »**, sur mâts relativement hauts (> 7/8 mètres) et équipés de lampes « à décharge » de type SHP et de puissance en général ≥ 150 W. Des programmes de rénovation récents ou en cours ont permis le remplacement des anciens luminaires par des modèles de nouvelle génération plus efficaces, l'emploi de LED étant encore très exceptionnel ;



Commentaire

Installations fonctionnelles récentes avec des luminaires présentant un ULOR performant mais installés le plus souvent avec une inclinaison pouvant générer des flux lumineux au-dessus de l'horizon.

- des **luminaires sur poteaux béton** d'alimentation électrique de hauteur de feu élevée et dont les interdistances sont établies pour des raisons de tenue mécanique des câbles d'alimentation et non liées aux contraintes de dimensionnement photométrique des installations. Cela peut se traduire fréquemment par des interdistances au-delà de la capacité de l'installation à assurer l'uniformité¹³ requise d'éclairage. Ces installations concernent également essentiellement les voies urbaines ;



Éclairage « fonctionnel » par luminaire sur crosse inclinée accroché à un poteau établi pour le transport de l'énergie

13. Uniformité d'éclairage : indicateur mesurant l'homogénéité de répartition de la lumière sur la zone éclairée pour limiter le risque de « trou noir ».

Commentaires

Installations fonctionnelles anciennes présentant une interdistance souvent trop importante pour permettre une bonne uniformité des éclairagements.

Installations fonctionnelles dont les luminaires sont installés avec une inclinaison générant inévitablement des flux lumineux au-dessus de l'horizon.

Hauteur de feu très importante au regard de la largeur de la voirie à éclairer (en éclairage public, le ratio $H < 1.20 \times \text{Largeur}$ est généralement applicable).

- des **configurations urbaines de type « piétonnière »**, de hauteur plus réduite (< 6 mètres) avec des diversités de modèles de luminaires plus ou moins récents et efficaces. Quelques récentes installations sont équipées de LED. On les retrouve soit le long de voirie avec contre-allée ou larges trottoirs, soit le long de promenade piétonnière, fréquemment en bordure de littoral.



Commentaires

Photo de gauche : installation piétonne récente suréclairée avec des luminaires avec un ULOR élevé. Éclairage d'une contre-allée pas forcément utile compte-tenu des flux arrière de l'installation connexe ou le cas échéant dont l'extinction après une certaine heure pourrait se justifier. Noter l'intrusion lumineuse jusqu'au 1er étage.

Photo de droite : luminaire ancien sans réflecteur mais avec pare-flux pour éviter les éblouissements. Éclairage sur 360° avec de fortes dispersions sur les façades - ULOR peu performant.



Commentaires

Photo de gauche : luminaire LED récent éclairant sur 360° y compris sur le front de mer générant des éclairages importants sur la plage. Multiplication des points lumineux pour garantir l'uniformité d'éclairage qui pourrait être moins contraignante en secteur piétonnier.

Photo du milieu : luminaire récent à LED. Éclairage sur 360° - ULOR non connu.

Photo de droite : luminaire ancien sans réflecteur et lampe apparente, source d'éblouissement et de perte de flux importante. Éclairage sur 360° avec risque de fortes dispersions sur les façades - ULOR peu performant.



Commentaires

Photo de gauche : luminaires neufs équipés de LED présentant une inclinaison d'installation.

Photo de droite : luminaires anciens de front de mer avec éclairage indirect (lumière ascendante renvoyée vers le sol après réflexion sur un chapeau brillanté).

Photo du bas : luminaires boules restantes dont l'efficacité est très faible et participant fortement au halo lumineux.

- des **configurations d'éclairage anciennes** équipées de luminaires d'ancienne génération (décennie 1980) énergivores, peu efficaces et générant des flux perdus importants. Elles se situent en bord de boulevard urbain, voire hors agglomération pour certaines ou sur des espaces mixtes (accès et parking de port de plaisance, accès de centres commerciaux...);

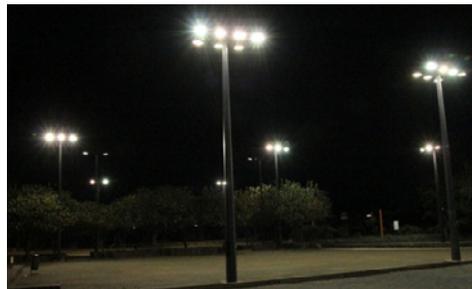


Commentaire

Installations anciennes avec des luminaires peu efficaces, équipés de vasques saillantes (réfraction de lumière vers le ciel), installés fréquemment avec une inclinaison.

- des **configurations « grands espaces »** de hauteur de feu très élevée (> 15/20 mètres) pour l'éclairage de parkings, de boulo-dromes, de stades ou installations industrielles (exemple : Le Port)

Cas des boulo-dromes



Boulo-drome du Barchois (Saint-Denis)



Boulo-drome de Saint-Paul



Boulo-drome du Parc du Colosse (Saint-André)





Parc du Colosse (Saint-André) - En « blanc » le boudrome éclairé - Source : SEOR



Boulodrome du Barachois à Saint-Denis
Source : SEOR



Espace de loisirs - Boulodrome (Saint-Paul)
Source : SEOR



L'Ermitage-les-Bains - Boulodrome (SHP)
Source : SEOR

Commentaire sur les éclairages des boudromes

Éclairage par projecteurs de fortes puissances, majoritairement en lumière « blanche » (Iodures métalliques). Inclinaison forte des projecteurs générant de fortes quantités de flux perdus et vers le ciel. Pas de dispositif de gestion pour extinction lorsqu'il n'y a plus de joueurs (extinction prévue en cours de nuit ?). Les niveaux d'éclairement sont parfois très élevés au regard des exigences normatives (cf. Fiches relevés photométriques sur le terrain).

Cas des parkings et ports de plaisance



Éclairage par projecteurs sur couronne (Port ouest)



Éclairage par luminaires horizontaux (Port ouest)



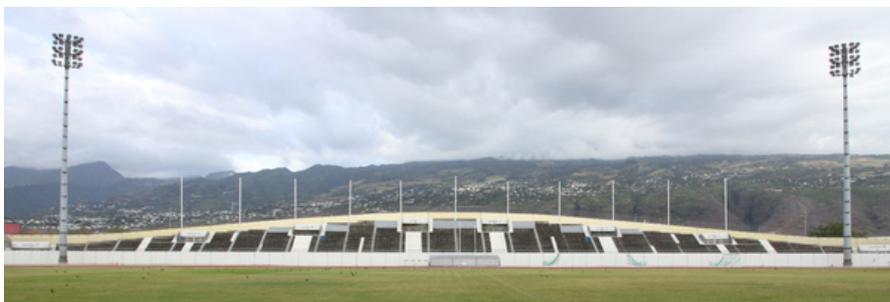
Éclairage par projecteurs asymétriques installés avec une inclinaison importante à nulle selon les sites



Commentaire sur les éclairages de parkings et port de plaisance

Éclairage par projecteurs de fortes puissances, majoritairement en lumière « blanche » (Iodures métalliques). Inclinaison fréquemment forte des projecteurs générant de fortes quantités de flux perdus et vers le ciel. Certaines configurations présentent des projecteurs « à plat ». Les quelques projecteurs asymétriques ne sont pas systématiquement installés à plat, sachant que quelques degrés d'inclinaison peuvent générer de fortes nuisances lumineuses.

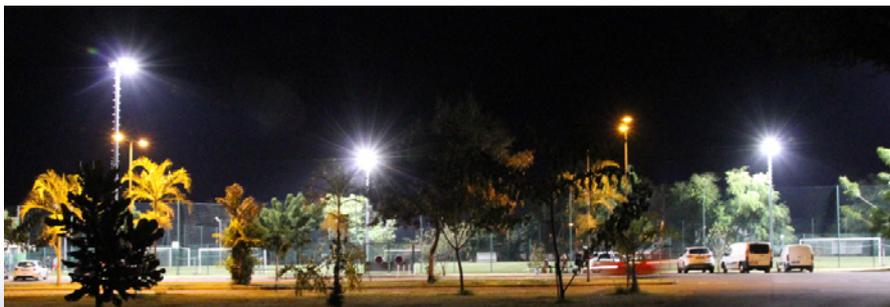
Cas des stades et autres terrains de sport



Éclairage du stade de Saint-Paul (mode réduit pour l'entraînement)



Batterie de projecteurs pour éclairage du stade de Saint-Paul - Carte source : SEOR



Éclairage du stade annexe de Saint-Paul



Installations d'éclairage du stade de Cilaos (pas de photographie aérienne nocturne sur Cilaos)



Installations d'éclairage des terrains outdoor à Cilaos (handball, tennis, basket)



Stade de la Redoute – Saint-Denis - Carte source : SEOR



Terrains de tennis en contrebas du stade de la Redoute

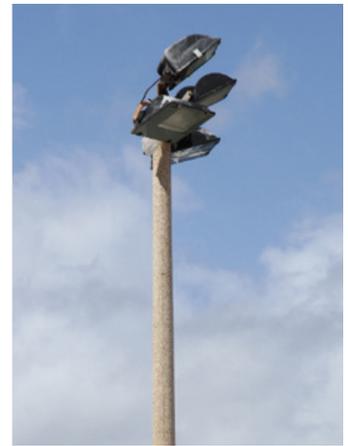


Stade de foot de l'Entre-Deux





Terrain de foot - Bord de mer (Saint-Pierre)



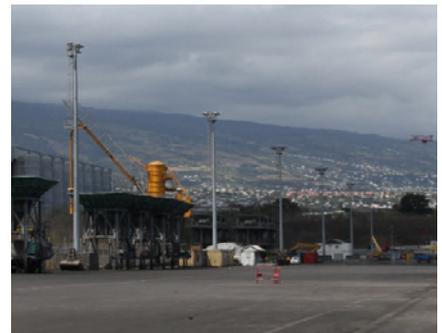
Commentaire sur les éclairages de stades

Éclairage par projecteurs de fortes puissances, majoritairement en lumière « blanche » (lodures métalliques). Inclinaison forte des projecteurs générant de fortes quantités de flux perdus et vers le ciel. Absence quasi-totale de projecteurs asymétriques. Par contre, les « gros stades » ne sont en général éclairés qu'en période d'utilisation, avec gestion par du personnel sur place.

Cas du Port Maritime



Mâts de grande hauteur et munis de nombreux projecteurs



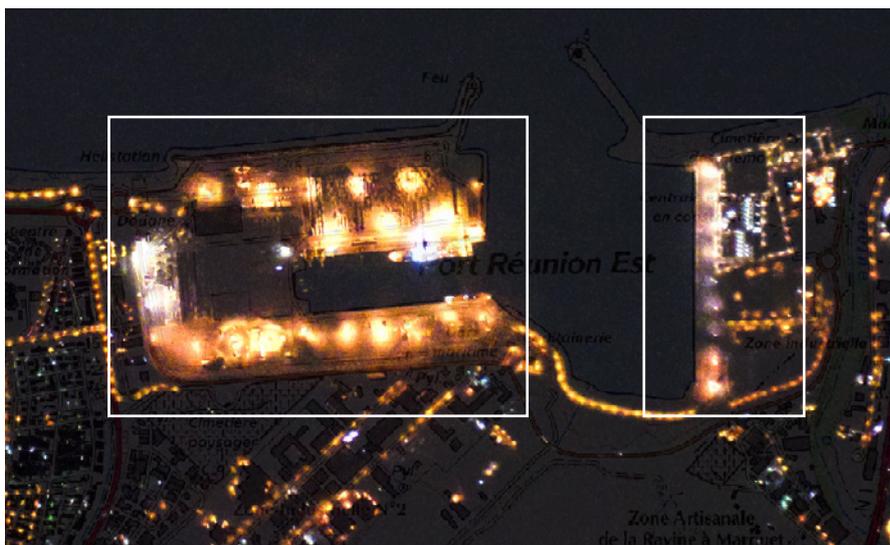
Installations plus récentes suite à la rénovation des quais (les projecteurs asymétriques sont réglés à 0°)



Configurations diverses mixant projecteurs asymétriques à plat et projecteurs inclinés



Éclairage nocturne des installations portuaires - Fortes puissances et fortes déperditions de flux lumineux
Fonctionnement 100 % en période d'inactivité du Port



A gauche, éclairages de grande hauteur « anciens » avec de fortes intensités lumineuses zénithales
À droite, secteur rénové récemment, flux ascendants zénithaux moindres et modulation de puissance en période d'inactivité (télégestion) - Carte source : SEOR

Commentaires sur éclairage du grand port Maritime

Éclairage de très grande hauteur par projecteurs de fortes puissances, en SHP pour les installations « anciennes » et IM pour les nouvelles (côté est). Inclinaison forte des projecteurs ancienne générant d'importants flux perdus. Les nouveaux projecteurs asymétriques* côté est présentent des pertes de flux vers le ciel plus réduites. Ils sont de plus équipés de dispositifs d'abaissement en période d'inactivité. Les installations Ouest fonctionnent à 100 % sauf durant une période nocturne d'extinction (nos photos - ou photo aérienne - ont été prises après 23 heures en période d'inactivité).

* Projecteur asymétrique

Projecteur dont les caractéristiques optiques sont dimensionnées pour permettre une répartition photométrique sur des aires étendues de type aires sportives, parkings, aires industrielles...

L'orientation de ces luminaires doit être impérativement à 0°, toute inclinaison de quelques degrés étant génératrice de flux perdus à des distances très éloignées.



Cas de l'aéroport Roland Garros



Eclairage de l'aéroport Roland Garros: présence de grands mâts équipés en SHP – projecteurs installés avec une très forte inclinaison

Commentaires sur éclairage de l'aéroport Rolland Garros

Éclairage de très grande hauteur par projecteurs de fortes puissances, en SHP pour éclairer les zones de stationnement des avions.

Inclinaison forte des projecteurs ancienne génération générant de fortes quantités de flux perdus et vers le ciel.

Pas d'informations sur le mode de fonctionnement partiel ou l'extinction en cours de nuit (hors période d'activités).

Cas des sites industriels

Ces éclairages se caractérisent par une démultiplication des foyers lumineux sur l'ensemble du site (exemples : usine du Gol, de Bois Rouge) à des hauteurs de feu variables, de puissances diverses et de typologie de lampes différentes (SHP, IM, LED, tubes fluorescent = néons).



Usine de Bois-Rouge (campagne sucrière septembre 2016)



Usine de Bois-Rouge (campagne sucrière septembre 2016)



Usine du Gol - Grande diversité de sources lumineuses

Commentaires

Éclairages multiples des sites industriels pour éclairer les différents lieux de travail extérieurs (coursives, plates-formes, stockage, manutention...). Les natures de lumière (SHP, IM) sont variables sur chaque site, certainement liées aux tâches à réaliser dont certaines doivent nécessiter un rendu des couleurs plus performant.

Autres configurations rencontrées

Encastrés de sol émettant un flux ascensionnel très impactant - Installations majoritairement en cours d'abandon.



Encastré de sol pour la mise en lumière d'une plaque commémorative (L'Entre-Deux)



Éclairage sous auvents de parking - Tubes fluorescents (ici alimentés par une installation photovoltaïque).



Parking sous panneaux photovoltaïques - Saint-Paul

Effets lumineux nocturnes par l'emploi de lumière colorée pour souligner du mobilier, le patrimoine (exemple : Croix de l'église de Cilaos).

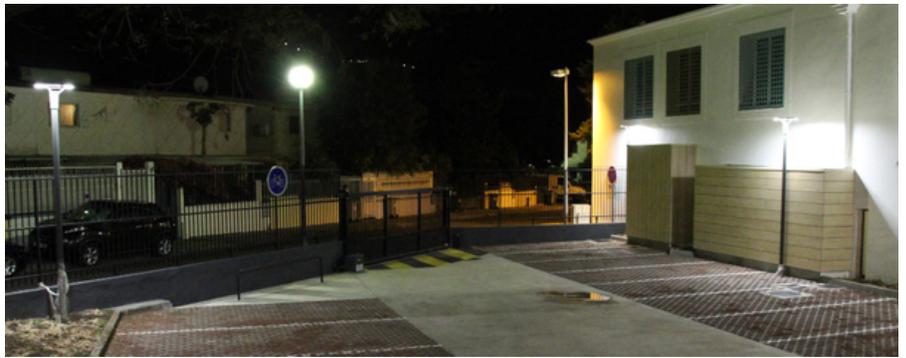


Eclairage d'ambiance (Cilaos (1, 2), Saint-Pierre (3))

Éclairages privatifs installés à l'initiative de propriétaires privés (particuliers et commerçants) sur la façade des immeubles ou pour l'éclairage de restaurants.



Eclairages en bord de mer liés à des hôtels, restaurants ou particuliers



Saint-Denis : diversité d'éclairage mixant éclairages privés (LED blanche) et public (boule blanche et fonctionnel SHP en fond) sur un parking privé d'une agence professionnelle hors période d'activité

Publicités lumineuses que l'on peut retrouver en divers endroits de l'île de La Réunion.



Ecran publicitaire à LED à Saint-Denis

3.4.3 Extraits de diagnostics de parcs d'éclairage urbains réunionnais

Les descriptions précédentes, issues des inventaires terrain réalisés en septembre 2016 n'ont pas vocation à être exhaustives mais sont a priori représentatives des installations d'éclairage extérieur présentes sur l'île de La Réunion.

Nous souhaitons croiser ces données relevées avec une étude plus exhaustive menée par le SIDELEC de manière à compléter nos investigations et analyses.

Nous n'avons pas pu récupérer de diagnostics type « Ademe » auprès des collectivités ou des partenaires sollicités, ni l'étude SIDELEC non encore disponible lors de la rédaction du présent rapport.

Le PPE prévoit la réalisation de l'ensemble des diagnostics des 24 communes de La Réunion à court terme.

4. ÉVALUATION PERFORMANTIÈLE DES INSTALLATIONS D'ÉCLAIRAGE EXTÉRIEUR

Ce chapitre traite de l'analyse des performances des installations d'éclairage extérieur au regard de :

- enjeux énergétiques et de l'efficacité des configurations d'éclairage dans le cadre des orientations prises par les instances réunionnaises en matière de maîtrise de la demande énergétique (cf. Scénarios du SRCAE) ;
- leur capacité à répondre aux exigences photométriques en lien avec les tâches visuelles identifiées ;
- leur adaptation à l'évolution temporelle des usages et des exigences photométriques.

Les impacts directement en lien avec les enjeux relatifs à la biodiversité et de la pollution du ciel nocturne sont traités spécifiquement dans le chapitre suivant.

4.1 LES ENJEUX ÉNERGÉTIQUES

Comme vu précédemment, les enjeux liés à la dépense énergétique sont très prégnants sur l'Île de la Réunion, notamment pour ce qui concerne le domaine des transports et la production d'énergie électrique. Si les premiers indicateurs concernant l'éclairage public permettent d'évaluer une consommation moyenne par habitant moins forte qu'en Métropole (soit 42,2 kWh/hab. contre 85 kWh par hab. en Métropole), le coût carbone de ces kWh « éclairage extérieur » est très élevé (720 g/kWh sur l'Île de La Réunion contre 90 g/kWh en Métropole).

Pour s'inscrire dans les objectifs énoncés au SRCAE, il y a donc lieu, pour les collectivités, d'étudier les possibilités offertes pour réduire majoritairement cette consommation annuelle liée à l'éclairage extérieur.

Si les préconisations techniques sont étudiées dans une partie spécifique de cette étude (phase 3), les axes de travail possibles sont assez nettement identifiables autour de :

- la réduction des puissances installées ainsi que la modulation temporelle des flux lumineux (exemple : périodes d'abaissement) ;
- la maîtrise et de la réduction des durées d'allumage, voire des extinctions.

Dans le cadre de la présente analyse, nous avons identifié certaines configurations qui pourraient faire l'objet d'améliorations rapides et efficaces pour s'inscrire dans les actions de réduction du volume d'énergie consommée par le poste éclairage public et inscrite comme actions dans la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE).

4.1.1 Installations allumées à des heures sans fréquentation

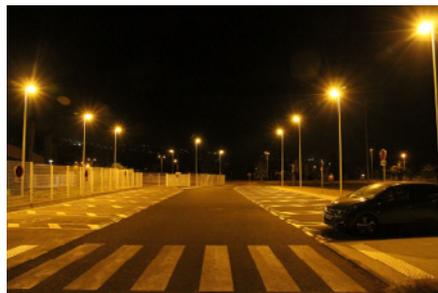
Les photos suivantes illustrent des situations d'éclairage pouvant amener à s'interroger sur la nécessité de maintenir un éclairage permanent, parfois conséquent tout au long de la nuit alors que les usages et besoins se font très exceptionnels à partir de certaines plages horaires. D'autre part, les nouvelles technologies (exemple : LED) autorisent aujourd'hui des modes de fonctionnement qui peuvent intégrer des dispositifs de détection pour un allumage uniquement en cas de présence d'utilisateurs, des potentiels plus forts d'abaissement de puissance....



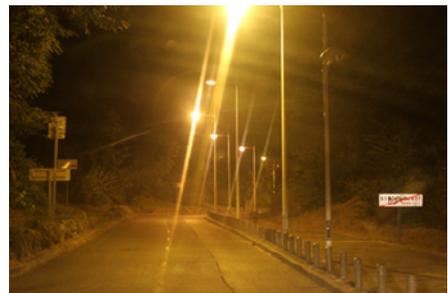
Saint-Pierre - Promenade du front de mer : Absence d'utilisateurs à partir d'une certaine heure avec un éclairage fort au regard des besoins et des déperditions de flux importantes atteignant la plage et l'océan



Saint-Denis : Pont Vin-Sanh - Cette installation sur la RN6 à l'entrée ouest de Saint-Denis n'est plus en milieu urbain (circulation motorisée quasi exclusive) et de plus franchit une ravine où les enjeux biodiversité peuvent s'avérer importants. La question du maintien de l'éclairage peut se poser



Stade Saint-Paul (réglementation accessibilité) : Le parking est éclairé en permanence durant l'usage du stade y compris en l'absence de tout usager en accès ou départ du parking. Un allumage par détection de présence (sur certains créneaux horaires) pourrait réduire les consommations énergétiques de ce parking



Boucan-Canot : Bord de mer - Même configuration dense et assez puissante avec des enjeux biodiversité à forts potentiels (tortues marines), hors agglomération avec cependant la possibilité de trafics piétons ou vélos



Saint-Pierre : Eclairages publics éclairant le front de mer et la plage directement occasionnant des apports de lumière conséquents sur la plage et débordant sur le lagon





Le Port : Installations hors agglomérations a priori déjà éteintes en raison d'usages nocturnes exclusivement routiers



Quartier Bellepierre, dimanche soir - Parking privatif d'un établissement scolaire sans usage en période nocturne (au-delà d'une certaine plage horaire voire tout le week-end ?) posant la question de l'intérêt de maintenir l'éclairage (sécurité ?)



Parking privé éclairé en permanence sans aucun usage nocturne au-delà des heures d'ouverture (banque/assureur)

4.1.2 Installations trop puissantes ou surabondantes au regard des besoins

Rappels : références en matière d'éclairage (en lux) :

- pleine lune : 0,5 lux ;
- rues - espaces publics : 10 à 20 lux ;
- zones de circulation intérieures et couloirs : 100 lux ;
- stade (niveau international - pour retransmission télévisée) : 1 500 lux ;
- ciel fortement couvert : 5 000 à 10 000 lux ;
- plein soleil : 100 000 lux.

Exemple : rue Mondon - Saint-Denis - Installation neuve (cf. Fiche relevé terrain)

Objectif photométrique théorique : **15 lux moyen.**

Éclairages mesurés : **29 lux moyen** soit près de 200 % de l'objectif.

Classification énergétique : **D.**



Exemple : Boulodrome du Barachois à Saint-Denis (cf. Fiche relevé terrain)

Objectif photométrique théorique : **50 lux moyen.**

Éclairages mesurés : **224 lux moyen** soit plus de 400 % de l'objectif.

Classification énergétique : **non calculée**

Installation récente - Allumage continu dépassant largement les périodes d'usage.



Exemple : Parking avec places pour personnes à mobilité réduite du stade de Saint-Paul

Objectif photométrique théorique : **20 lux moyen**.

Éclairages mesurés : **43 lux moyen** soit plus de 200 % de l'objectif.

Classification énergétique : **D**.

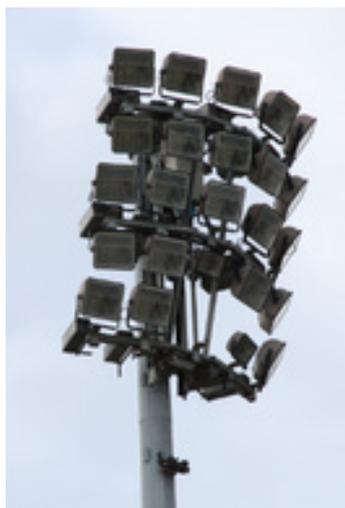


Cet exemple peut également être classé comme sans lien avec l'aspect temporel des usages. En effet, la réglementation autorise un fonctionnement par détection de présence de ces parkings non couverts au sein d'un Établissement Recevant du Public (ERP), et de n'en déclencher le fonctionnement que lorsqu'une personne est présente. La technologie SHP actuellement en place ne permet cependant toutefois pas ce type de dispositif. (La LED le permettrait aisément).

Exemple : Stade de Saint-Paul

Objectif photométrique théorique : **75 lux moyen pour de l'entraînement ou de la compétition de niveau local ; 200 lux pour un match de niveau régional ; 500 lux moyen recommandé pour un match de niveau national (Ligue 1) ou international.**

Éclairages mesurés : **214 lux moyen** en mode « entraînement » (1 projecteur sur deux allumé), soit plus de 280 % de l'objectif ; **418 lux moyen** en mode « match régional », soit 209 % de l'objectif si ce dernier est le niveau régional. L'équipement n'est pas suffisant en cas de match de niveau national voire international, mais le stade est beaucoup moins sollicité pour ce type d'évènement.



Batterie de projecteurs du stade de Saint-Paul



Au-delà de la dépense énergétique superflue au regard des besoins identifiés dans les normes de référence, ces installations présentent des projecteurs implantés de manière quasi-verticale, ce qui a pour conséquence de très fortes déperditions horizontales et ascendantes de flux lumineux (avec un potentiel impact très fort sur les oiseaux marins en survol. Les nombreux échouages constatés sur les stades illustrent ce constat).

Il faut par contre noter que l'éclairage est contrôlé par du personnel sur place, et est globalement éteint peu de temps après la fin de l'entraînement ou du match.

Exemple : Centre du village - Cilaos

Objectif photométrique théorique : **15 lux moyen**.

Eclairements mesurés : **68 lux moyen** soit près de 450 % de l'objectif.

Classification énergétique : **E**.



4.2 LES ENJEUX EN LIEN AVEC LA POLLUTION LUMINEUSE

4.2.1 La méthode de Falchi

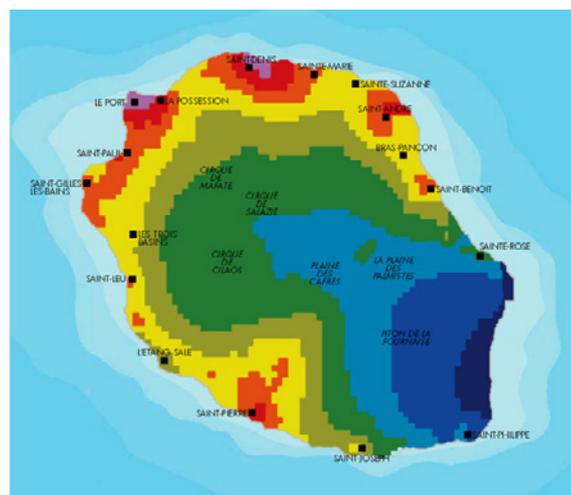
L'étude de Falchi (cf. paragraphe 2.5 2 - page 45) s'est penchée sur le cas de La Réunion et présente les résultats suivants :

Country	Brightness ($\mu\text{cd}/\text{m}^2$)											
	≤ 1.7	> 1.7	> 14	> 87	> 688	> 3000	≤ 1.7	> 1.7	> 14	> 87	> 688	> 3000
	Population (%)						Area (%)					
Réunion	0.0	100.0	100.0	95.2	43.8	0.0	0.0	100.0	99.7	51.0	3.7	0.0

EXTRAIT ZOMÉ
SUR LE TERRITOIRE DE LA RÉUNION
DE L'ATLAS MONDIAL
DE LA CLARTÉ ARTIFICIELLE
DU CIEL NOCTURNE

IMPACT VISUEL

- Ciel vierge
- Ciel dégradé près de l'horizon
- Ciel dégradé près du zénith
- Perte de vue du ciel naturel
- Perte de vue de la voie lactée
- Les cônes de l'oeil restent actifs



Source : Falchi et al.

On constate sur cette carte qu'il n'existe aucune zone sur l'île totalement exempte de pollution lumineuse (même si la région de la route des laves est assez préservée), et qu'il existe de forts niveaux de pollution au niveau des agglomérations de Saint-Denis, Saint-André, Le Port/ Saint-Paul et de Saint-Pierre.

4.2.2 Exploitation de la cartographie nocturne aérienne

Dans le cadre du programme LIFE + Pétrels, la SEOR a fait réaliser une mosaïque de photographies aériennes nocturnes d'une partie importante de l'île de La Réunion. Celle-ci a été réalisée par avion, à différentes périodes de l'année, en début de soirée (entre 19h et 20h). La prise de vue d'avion, contrairement à la vue satellitaire, se fait à petite distance : la définition des images est donc bien meilleure que celles utilisées dans l'étude de Falchi, et on distingue en zoomant les points lumineux individuels.

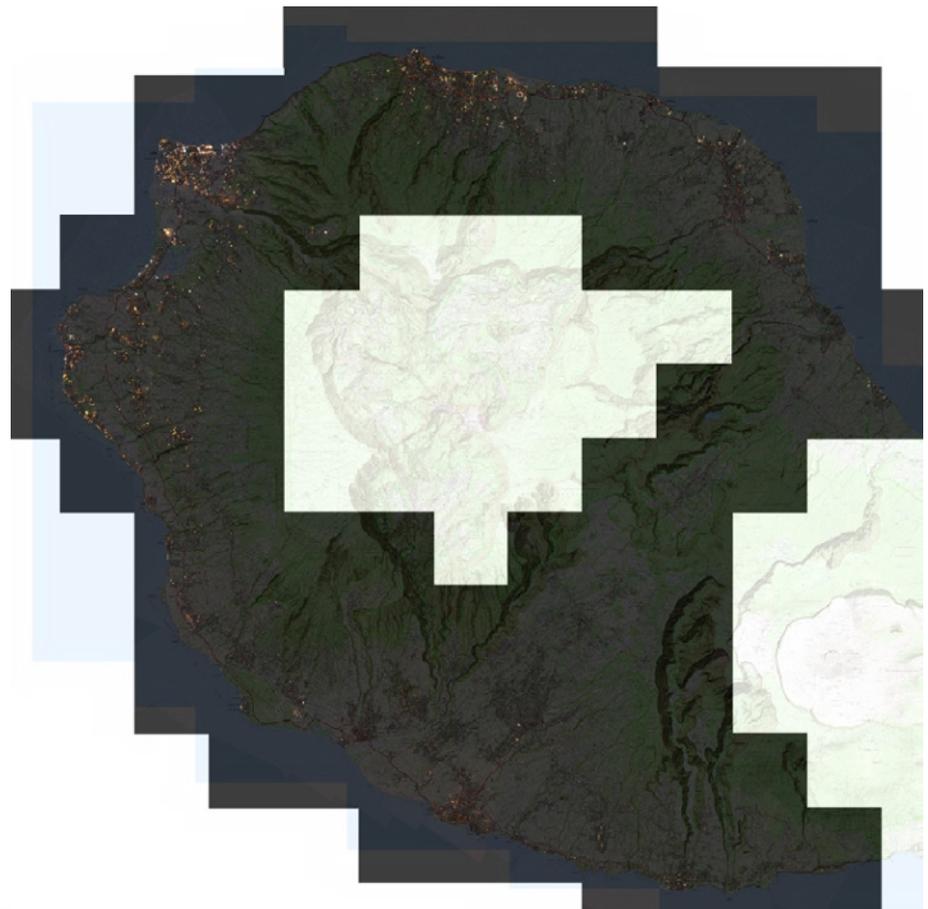
L'heure de la prise de vue a une importance particulière puisque certaines installations ne sont ou n'ont vocation à n'être éclairées qu'en soirée (stades, parcs urbains, etc.).

Ces photographies vont fournir une information précieuse puisqu'elles vont permettre d'établir un état zéro des points lumineux sur le territoire. Une exploitation est prévue en ce sens dans le cadre du programme LIFE +.

Pour autant, certaines limites sont à souligner :

- les conditions météorologiques n'ont pas toujours été optimales lors de la réalisation des images, et, contrairement aux images satellitaires, et pour des questions de coûts, on ne dispose en général que d'un passage par zone : certains secteurs urbanisés apparaissent donc anormalement sombres, vraisemblablement en raison de la présence de nébulosités ;
- la totalité du territoire n'a pas pu être couverte.

COMPILATION DE PHOTOS AÉRIENNES NOCTURNES DE LA RÉUNION RÉALISÉES EN 2016



Source : SEOR

Rappel sur les informations disponibles à partir de ces photographies nocturnes aériennes

Nous avons évoqué précédemment (cf. Sous-chapitre 2.5 - page 48 - Lumières perçues depuis le ciel : l'Atlas mondial de la clarté artificielle du ciel nocturne), que ces photographies nocturnes représentent la lumière perçue depuis l'espace, à une distance telle qu'on peut la considérer comme de la lumière zénithale (émise à la verticale par rapport à un sol horizontal). Cette lumière zénithale est composée de lumière émise directement (partie d'émission directe vers le ciel), mais également de la lumière réfléchiée par le sol (routes et parkings, stades, etc.).

Elles ne sont donc que partiellement représentatives des émissions lumineuses participant au halo lumineux au-dessus des territoires urbanisés, et dans une moindre mesure encore de celles a priori perturbantes pour les espèces animales.

La photo ci-dessous illustre visuellement l'ensemble des émissions lumineuses engendrées par les éclairages extérieurs constituant un halo lumineux au-dessus des zones urbanisées.



Vue nocturne depuis l'usine du Gol vers l'Ouest - Cette image surexposée permet de visualiser l'effet de halo perceptible même quand les sources lumineuses ne sont pas visibles

L'île de La Réunion, bien qu'urbanisée sur une petite partie seulement de son territoire (essentiellement sur sa frange littorale), est particulièrement concernée par la pollution lumineuse (assimilée ici à une émission de lumière à des emplacements, dans des directions, ou à des puissances non désirées ou inutiles), et la dépense énergétique et le coût Carbone qui y sont liés. L'éclairage artificiel est perceptible à distance du fait de la situation insulaire (perception en mer), et de sa configuration escarpée, avec des pentes orientées vers les zones urbanisées qui rendent cette pollution particulièrement visible depuis les hauteurs de l'île (orientées vers la mer).

A l'origine de cette pollution, on retiendra 4 causes majeures identifiées au cours de la mission de terrain, sur lesquelles il est cependant possible d'agir à plus ou moins court terme :

1. des puissances d'éclairages très importantes sur de nombreuses installations, parfois largement au-delà des objectifs normatifs, y compris sur des installations récentes (dont LED) ;
2. des horaires d'allumage parfois sans rapport avec les usages (ex : allumage continu sur certains boulodromes) ;
3. des orientations de projecteurs parfois très au-dessus de l'axe horizontal (notion d'ULOR : flux perdu important) ;
4. des installations d'éclairage dont l'utilité n'est pas évidente (certaines étant d'ailleurs éteintes).

Il faut cependant noter que cette situation de « suréclairage » n'est pas généralisée sur l'île, certains secteurs présentant des situations de sous-éclairage, et d'autres des configurations en rapport avec les normes et besoins.

5. ÉTAT DES CONNAISSANCES DES EFFETS DE L'ÉCLAIRAGE SUR LA BIODIVERSITÉ RÉUNIONNAISE

L'ensemble de ces installations d'éclairage extérieures, parmi lesquelles sont comptabilisés l'éclairage public des communes de l'île ainsi que l'éclairage sportif (stade, boulodrome, skatepark...) et représentant près de 84 000 foyers lumineux, sont installées pour permettre la continuité nocturne des activités humaines, qu'elles soient d'ordre sécuritaires (déplacements), professionnelles (industries, aéroport, port maritime...), commerciales ou de loisirs et sportives. Elles sont dimensionnées en conséquence pour garantir la réalisation d'une tâche visuelle en condition nocturne en toute sécurité et tenant compte des capacités visuelles nocturnes humaines.

Les aspects normatifs définissant ces niveaux d'exigences sont décrits au paragraphe 6.3.1 (page 135).

En conséquence des aménagements réalisés depuis plusieurs décennies en lien avec une forte croissance urbaine accompagnée d'un déploiement concomitant des installations d'éclairage, de nombreux impacts sont aujourd'hui mis en avant par la communauté scientifique et les associations locales en lien avec la préservation de la biodiversité et du ciel nocturne. Parallèlement, du fait du coût énergétique du poste « éclairage extérieur » et notamment de son impact environnemental (cf. Chapitre 3 - Le contexte énergétique de l'île de La Réunion - page 53) en raison de la production d'électricité majoritairement à partir d'énergies fossiles, les collectivités gestionnaires se sont engagées dans des actions fortes de renouvellement des installations en vue de réduire au maximum ces coûts énergétiques et financiers liés à l'éclairage extérieur (42 % de leur facture d'électricité en moyenne). La présente étude vient en appui à cette volonté des collectivités pour la réduction des consommations énergétiques et accompagne la démarche par l'identification des enjeux vis-à-vis de la biodiversité ainsi qu'un diagnostic de situations existantes fortement impactantes.

5.1 CONNAISSANCES PAR ESPÈCES

Espèces locales prises en compte dans le cadre de cette étude, et interactions avec l'éclairage artificiel

L'île de La Réunion accueille 111 espèces connues d'oiseaux, 12 espèces de mammifères terrestres, 21 espèces de mammifères marins, 28 espèces de reptiles, 2 espèces d'amphibiens¹⁴, environ 2000 espèces d'insectes¹⁵, et 1764 espèces de plantes¹⁶. Cette richesse, en particulier en ce qui concerne la flore, lui permet de faire partie d'un des 34 hot-spots de biodiversité défini en 1989 par l'ONG Conservation International. (Madagascar et les îles de l'Océan Indien).

14. La liste rouge des espèces menacées en France - Premiers résultats pour la faune de la Réunion - Dossier de presse - 1^{er} juillet 2010, MNHN, UICN.

15. J. Rochat, La biodiversité invertébrée terrestre de la Réunion.

16. <http://mascarine.cbnm.org/index.php/presentation/introduction-sur-la-flore?showall=&start=2>

Parmi ces nombreuses espèces, certaines sont indigènes voire endémiques, quand d'autres sont d'origine exotique et sont arrivées sur l'île au gré des allées et venues des premiers colonisateurs et de leurs descendants.

De par la situation d'insularité et de relatif isolement géographique de l'Île de La Réunion, et les menaces apportées par l'homme, au nombre desquelles la destruction et la fragmentation des habitats naturels, l'introduction d'espèces exotiques envahissantes ou nuisibles, l'imperméabilisation des sols et la pollution lumineuse, certaines des espèces indigènes ou endémiques sont aujourd'hui menacées de disparition. Ainsi, 61 espèces végétales et 48 espèces animales bénéficient d'un statut de protection, et 36 espèces animales sont inscrites sur la liste rouge des espèces menacées de La Réunion.

Parmi celles-ci, d'après les connaissances actuelles, plusieurs espèces voient leur survie menacée ou a minima leur cycle de vie impacté par la lumière artificielle. En effet, comme vu précédemment, la lumière affecte de manière générale un très grand nombre d'organismes vivants, qu'ils appartiennent au règne animal ou végétal, avec des effets différents selon de nombreux paramètres que sont les espèces en elles-mêmes, leur âge, leur environnement, les types de lampes considérés, leurs puissances, les dispositifs d'éclairages, etc.

C'est donc sur ce critère de sensibilité à la pollution lumineuse, en fonction des connaissances disponibles, et en accord avec la DEAL Réunion, commanditaire, que la présente étude et en particulier la phase de terrain s'est concentrée sur les 3 groupes d'espèces suivants.

5.1.1 Les oiseaux marins

À La Réunion, l'incidence de l'éclairage nocturne est particulièrement marquée sur quatre espèces d'oiseaux marins nocturnes, dont deux espèces rares et endémiques d'oiseaux marins nichant à La Réunion, le Pétrel noirs de Bourbon et le Pétrel de Barau. La SEOR a débuté un programme de saisie des localisations précises de ces échouages qui permet de préciser les zones à enjeux concernant l'impact de la lumière sur les oiseaux marins.



Le programme européen dénommé LIFE+Pétrels (2014-2020) a pour but de mettre en œuvre un bouquet d'actions de conservation ciblées sur les menaces qui pèsent sur les 2 espèces de pétrels de La Réunion et prévoit l'élaboration d'un atlas spatialisé du risque d'échouage liée à la pollution lumineuse de l'île.



Pétrel noir de Bourbon
Source : Parc national de La Réunion

Les principales espèces sensibles à l'éclairage sont les suivantes :

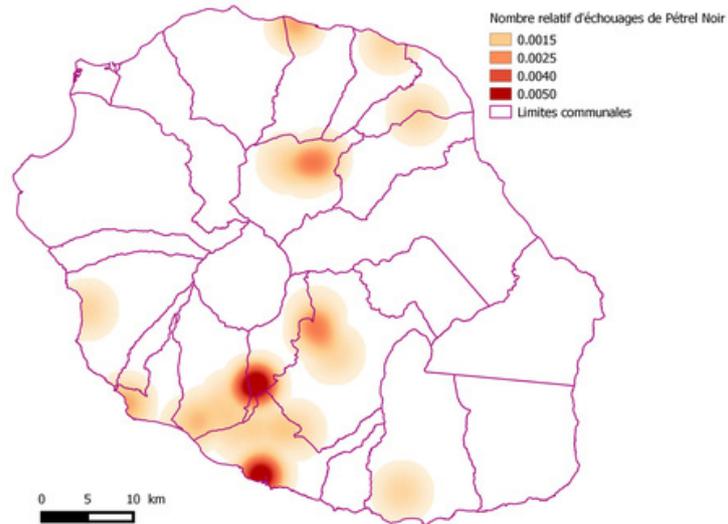
- le **Pétrel noir de Bourbon** *Pseudobulweria aterrima*, espèce endémique stricte de La Réunion, protégée au niveau national et inscrite aux listes rouges mondiales de l'UICN en tant qu'espèce **en danger critique d'extinction**. Il est considéré comme une des 15 espèces animales les plus menacées de la planète (Conde et al. 2015).

La population reproductrice est en effet estimée à seulement quelques dizaines de couples (Salamolard et al. 2008), et localisée autour de Grand Bassin, dans les hauts de Saint-Joseph et potentiellement dans d'autres sites reculés non identifiés à ce jour. Il bénéficie d'un plan national d'action (2012-2016), et d'un programme européen LIFE + (2014-2020) qui permet de financer des actions de conservation en sa faveur.

Enjeux liés à l'éclairage artificiel

On constate pour cette espèce, à proximité des sources lumineuses, un plus grand nombre d'échouages d'individus adultes que de juvéniles, même si les chiffres, à mettre en relation avec l'estimation de la population totale, restent faibles et donc difficilement exploitables statistiquement (45 échouages constatés au total de 1990 à 2011)¹⁷. Les échouages d'adultes se répartissent tout au long de l'année, alors que les juvéniles s'échouent à la période de l'envol, du mois de février au mois d'avril. Étant donné la très petite taille de la population et le statut de conservation très défavorable de cette espèce endémique stricte, de nombreux efforts sont mis en œuvre pour tenter de limiter son déclin. Par exemple, un des enjeux du programme européen LIFE+Pétrels est la meilleure prise en compte de cette espèce dans la stratégie d'éclairage de la micro-région dans laquelle elle évolue.

DISTRIBUTION SPATIALE DU NOMBRE RELATIF D'ÉCHOUGES DE PÉTREL NOIR ENTRE 2008 ET 2015



Source : SEOR



Pétrel de Barau - Source : SEOR

- le **Pétrel de Barau** *Pterodroma barau*, espèce endémique de La Réunion, protégée au niveau national et inscrite à la liste rouge mondiale de l'UICN en tant qu'espèce en danger d'extinction.

Sa population est estimée à 14 000 couples¹⁸, et niche sur les contreforts du Grand Bénare et du Piton des neiges, entre 2200 et 2800 m d'altitude. Il se nourrit en haute mer. Il bénéficie lui aussi d'un plan de conservation, et du programme LIFE+ Pétrels.

Enjeux liés à l'éclairage artificiel

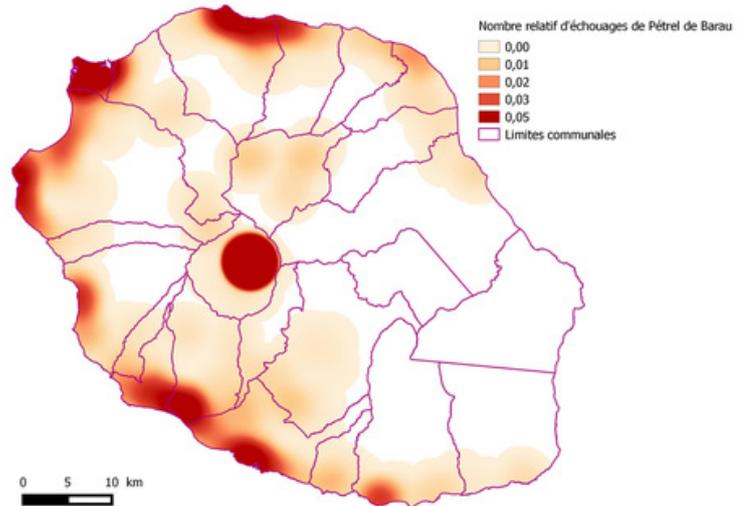
Le nombre d'échouages constatés à proximité des sources lumineuses est relativement important (de 500 à 1200 par an) et se concentre en avril-mai. Sont concernés essentiellement des individus juvéniles lors de leur premier envol. On constate que les échouages se concentrent en particulier lors des nuits sans lune ou en présence de brouillard à proximité de points lumineux. Pour répondre à cette problématique, depuis plusieurs années, l'événement des « nuits sans lumières » est programmé en avril et se focalise sur le calendrier d'envol des jeunes Pétrel de Barau : il consiste à encourager les acteurs publics et privés à éteindre les éclairages artificiels pendant une durée déterminée (20 nuits en 2016 et 25 nuits en 2017), ainsi que de sensibiliser le public aux enjeux liés aux Pétrels et aux incidences de la pollution lumineuse. L'évènement est présenté plus précisément au paragraphe 6.2.5 (page 133).

17. Plan national d'action en faveur du Pétrel noir de Bourbon *Pseudobulweria aterrima* - 2012-2016.

18. Patrick Pinet (2012), mémoire de thèse « Biologie, écologie et conservation d'un oiseau marin endémique de la Réunion : Le Pétrel de Barau ».

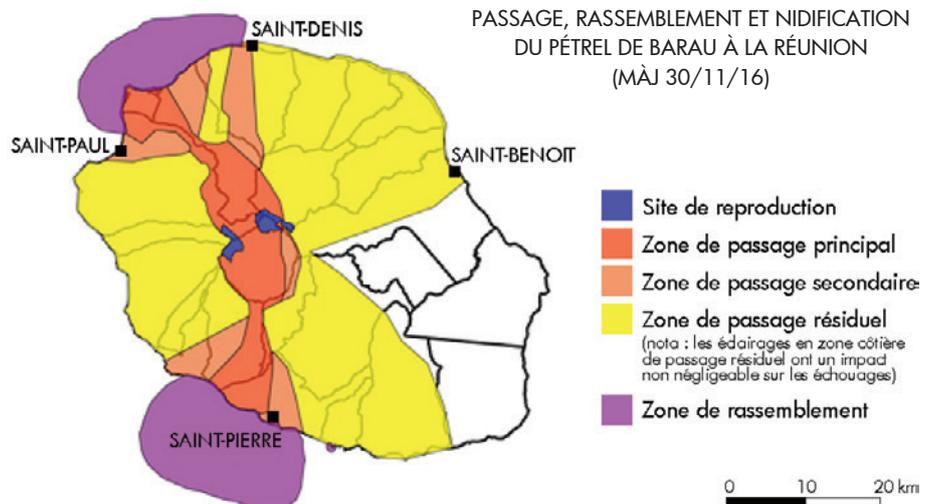
Des échouages massifs peuvent se produire comme ce fut le cas à Cilaos lors d'épisodes météorologiques défavorables (nuages bas) associés aux puissants éclairages du stade de football du centre-ville (208 individus le 11 avril 2015). Il semble que cet échouage massif soit lié à l'incidence combinée du brouillard et de l'éclairage artificiel.

DISTRIBUTION SPATIALE DU NOMBRE RELATIF D'ÉCHOUGES DE PÉTREL DE BARAU ENTRE 2008 ET 2015



Source : SEOR

Ces données d'échouage compilées à des observations d'individus en vol, à terre et en mer ont permis d'élaborer la carte suivante qui permet d'identifier des zones de passage principal, de passage secondaire et de passage résiduel.



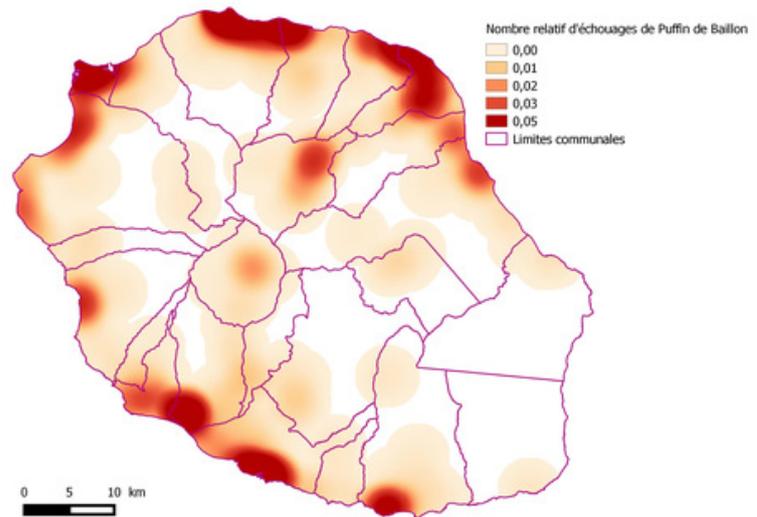
Puffin de Baillon - Source : ACSP

- le **Puffin de Baillon** ou Puffin tropical *Puffinus bailloni*, espèce protégée indigène des Mascareignes, très largement répartie sur l'île, préférentiellement sur les falaises nues des ravines de la partie ouest de l'île (Saint-Denis à Saint-Philippe) et du cirque de Salazie, dans les zones inaccessibles à l'homme.

Enjeux liés à l'éclairage artificiel

Cette espèce s'échoue à proximité de sources lumineuses en nombre avec environ 1 000 individus recueillis chaque année par le centre de soin de la SEOR. Ces échouages ont lieu tout au long de l'année avec une concentration entre novembre et février.

DISTRIBUTION SPATIALE DU NOMBRE RELATIF D'ÉCHOUAGES DE PUFFIN DE BAILLON
ENTRE 2012 ET 2015



Source : SEOR



- le **Puffin du Pacifique** *Ardena pacifica*, espèce protégée indigène à La Réunion, inscrite à la liste rouge régionale de l'UICN en tant qu'espèce quasi-menacée. Présente quasiment uniquement sur la côte sud de l'île entre Saint-Pierre et Saint-Philippe, et sur la falaise littorale nord (route du littoral et Rivière Saint-Denis), se reproduit à proximité des zones côtières.

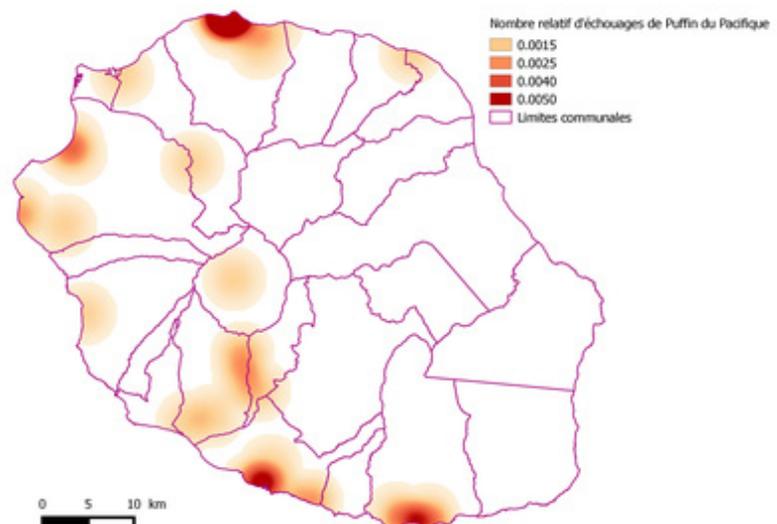
Enjeux liés à l'éclairage artificiel

Cette espèce s'échoue surtout en mai, avec 20 à 30 individus récupérés chaque année par la SEOR.



Puffin du Pacifique - Source : ACSP

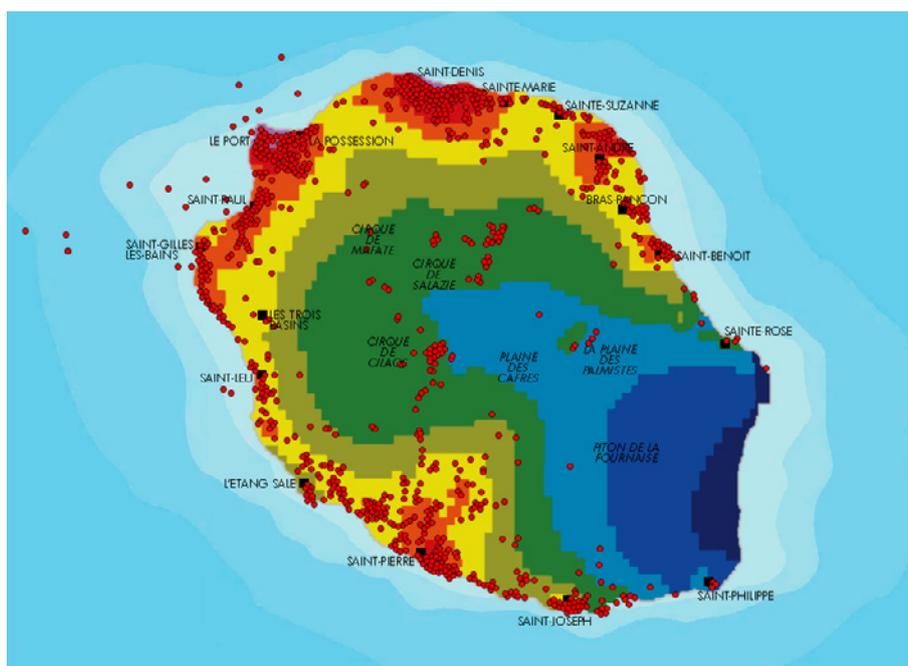
DISTRIBUTION SPATIALE DU NOMBRE RELATIF D'ÉCHOUAGES DE PUFFIN DU PACIFIQUE
ENTRE 2012 ET 2015



Source : SEOR

Compilation des cartes d'échouage et croisement avec les données d'éclairage

CROISEMENT DE LA CARTE ISSUE DE L'ATLAS MONDIAL DE LA CLARTÉ ARTIFICIELLE DU CIEL NOCTURNE (Source : falchi et al.) ET D'UNE COMPILATION DES DONNÉES D'ÉCHOUGES DES 4 ESPÈCES D'OISEAUX MARINS ENTRE 2008 ET 2015 (Source : SEOR)



En superposant ces 4 cartes d'échouages en regard de la carte de la clarté artificielle du ciel nocturne de Falchi et al., on constate que les zones les plus éclairées (Le Port, Saint-Denis, Saint-Pierre) concentrent un nombre important d'échouages. Pour les 4 espèces, on remarque également que les zones littorales de manière générale concentrent une proportion importante des échouages, même s'il est complexe de mesurer l'importance relative des deux critères (pollution lumineuse et positionnement littoral), le littoral étant particulièrement aménagé et donc fortement éclairé.

Pour les Pétrels de Barau, on remarque également des zones d'échouages importantes assez éloignées du littoral, et qui n'apparaissent pas à l'échelle de la carte de Falchi comme des zones fortement éclairées. Il s'avère qu'elles correspondent à des communes situées dans les zones de passage principal de ces espèces ou à proximité immédiate des sites de reproduction dans le cas de Cilaos.

Un paramètre à prendre en compte pour pondérer ces cartes est la détectabilité des oiseaux échoués, qui est nécessairement favorisée par la présence de personnes et d'éclairage.

« On constate cependant que les zones très habitées dans les Hauts, (exemples : Trois Bassins, La Montagne au-dessus de Saint-Denis) n'accueillent presque pas d'oiseaux échoués. L'explication consisterait à imaginer que la trajectoire des jeunes pétrels s'effectue avec une perte régulière d'altitude par rapport au sol depuis 2000 mètres jusqu'au littoral. Et s'ajoute, sans doute, quelques jeunes déjà en mer et attirés de nouveau par les éclairages sur le littoral. » (Marc Salamolard, commentaire personnel).

Une tendance à l'augmentation du nombre d'oiseaux impactés

Un réseau de sauvetage des oiseaux marins sur toute La Réunion a été initié par le Muséum d'Histoire Naturelle de Saint-Denis, et est piloté depuis sa création en 1997 par la SEOR. Il permet de récupérer jusqu'à 1 200 Pétrels de Barau et jusqu'à 1 300 Puffins tropicaux chaque année. Les chiffres des échouages sont globalement en augmentation, ce qui pourrait s'expliquer par une augmentation de la pollution lumineuse sur les littoraux de La Réunion. En effet, ces espèces sont attirées par les lumières artificielles des villes et s'y échouent. Après avoir chuté au sol, ces oiseaux sont en général incapables de décoller à partir de la terre ferme depuis des zones planes. En l'absence d'intervention humaine, ils sont alors condamnés à une mort certaine (stress thermique, collision avec des véhicules, prédation par les chiens et les chats).

Ces échouages constituent donc une cause de mortalité importante pour ces espèces en voie de disparition. Ce phénomène d'attraction lumineuse n'est pas expliqué avec certitude, mais deux hypothèses sont avancées :

- les pétrels assimileraient les éclairages artificiels aux reflets des étoiles sur la mer. Les jeunes, inexpérimentés, se croyant au-dessus de l'océan, descendent alors vers les éclairages publics ;
- les pétrels se nourrissant de calmars bio-luminescents (émission de lumière naturelle), ils associeraient la lumière à une source de nourriture. Cette méprise pourrait expliquer l'attraction des jeunes pétrels inexpérimentés pour les éclairages.

Depuis 1995, la Société d'Etudes Ornithologiques de La Réunion (SEOR) organise des campagnes de sauvetage à travers un réseau de bénévoles pour sauver les oiseaux qui sont retrouvés. Ils sont alors soignés, bagués et relâchés.

Le nombre d'oiseaux marins recueillis ne cesse d'augmenter.

ÉVOLUTION DU NOMBRE D'OISEAUX MARINS RECUEILLIS À LA SEOR ENTRE 1995 ET 2015



Source : SEOR

Ces chiffres montrent une augmentation globale des échouages. Le nombre d'oiseaux marins récupérés est en effet passé de 20 en 1995 à 2300 en 2015, soit une augmentation de 115 oiseaux/an depuis 20 ans. D'après les experts locaux, cette augmentation serait imputable à deux facteurs :

- l'augmentation réelle du nombre d'oiseaux marins échoués, du fait de l'augmentation permanente des éclairages à La Réunion, lié à l'accroissement de la population et donc de l'urbanisation des côtes et des mi-pentes. (Pour illustration, l'augmentation de la population a été de 657 162 habitants en 1995 à 844 994 habitants en 2014, soit une augmentation de 28,6 % - Données INSEE 2015) ;
- l'amélioration de l'efficacité du réseau de récupération des oiseaux marins. Grâce à la sensibilisation du grand public, on estime que le ratio nombre de pétrels récupérés/ nombre de pétrels échoués a augmenté. Ainsi, l'échouage dû aux lumières des villes existait sans doute avant 1995, sans que les oiseaux ne soient récupérés.

5.1.2 Les tortues marines

Parmi les 5 espèces de tortues marines connues à La Réunion, nous nous sommes intéressés à celles qui sont considérées comme les plus fréquentes dans les eaux et sur les plages de La Réunion, et résidentes pour certains individus :



Tortue Verte - Source : DEAL Réunion



Tortue Imbriquée - Source : Wikimedia

- la **Tortue Verte** *Chelonia mydas*, espèce indigène de La Réunion, protégée au niveau national et inscrite à la liste rouge mondiale et régionale de l'UICN en tant qu'**espèce en danger**.
- la **Tortue Imbriquée** *Eretmochelys imbricata*, espèce indigène de La Réunion, protégée au niveau national et inscrite à la liste rouge mondiale et régionale de l'UICN en tant qu'**espèce en danger critique d'extinction**.

Enjeux liés à l'éclairage artificiel

Les pontes constatées à La Réunion, très peu nombreuses (moyenne d'1 femelle pondreuse par an) concernent uniquement la tortue Verte, et sont perturbées notamment par les éclairages artificiels sur ou à proximité des lieux de pontes, éclairages qui par ailleurs génèrent ou sont générés par de l'activité humaine potentiellement défavorable, elle aussi, aux pontes¹⁹.



Établissements touristiques positionnés en haut de plage au bord du lagon, émettant une quantité importante d'éclairage en direction de l'océan et constituant par endroit une barrière lumineuse quasi-continue

En 2011, les spécialistes de *Kélonia* ont eu l'opportunité d'observer le comportement d'une tortue Verte en période de ponte, et fait le constat que la ponte était favorisée lorsque l'éclairage public ne fonctionnait pas sur les plages habituellement éclairées par de la lumière artificielle.

Il a par contre été constaté lors d'un autre suivi que le passage de voitures à proximité ne semblait pas gênant dans la mesure où les phares n'éclairent pas directement la plage.

Les spécialistes locaux soulignent que le bon état de la plage/arrière-plage et notamment de sa végétation est également un critère qui semble déterminant dans le choix du site de ponte²⁰.

19. Ciccione, Bourjea, 2006 : Nesting of Green Turtles in Saint Leu, Réunion Island. Marine Turtle Newsletter No. 112.

20. Ciccione, Bourjea, jan.2010. Nesting beach revegetation and its influence on green turtle (*Chelonia mydas*) conservation in Réunion Island. Indian Ocean Turtle Newsletter No. 11.

Au cours de la phase de terrain de la présente étude, différentes plages utilisées ou potentiellement utilisables pour la ponte de tortues ont été visitées et analysées sur les critères suivants :

- nature du substrat ;
- granulométrie du substrat ;
- largeur et dénivelé de la plage ;
- végétation de plage et d'arrière-plage ;
- protection vis-à-vis des fortes houles.

Les visites ont été réalisées en compagnie de Jérémie Bossert du Centre d'Étude et de Découverte des Tortues Marines (CEDTM).

Le faible nombre de pontes constatée sur l'île de manière générale pourrait être en partie expliqué par le fait que la plupart des plages qui répondent favorablement aux critères cités ci-avant sont malheureusement souvent exposées à de la pollution lumineuse, combinée la plupart du temps à de la présence et des activités humaines tout au long de l'année.



Plage potentiellement favorable à la ponte de tortues, mais trop fortement éclairée

Le constat a également pu être fait que certaines installations lumineuses, parfois très puissantes et sans justification à priori de sécurité, sont directement orientées vers l'océan, avec par exemple ci-après un éclairage privé observé sur la côte ouest.



Dispositif d'éclairage privé puissant directement orienté vers le lagon

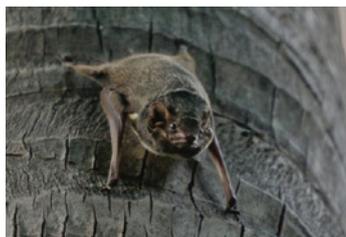
Or, il a été rapporté dans la phase bibliographique que des éclairages orientés vers la mer réduisent la probabilité que les femelles viennent pondre, ce qui condamne certaines portions du littoral potentiellement favorables par ailleurs. De plus, ils désorientent les adultes après la ponte et les juvéniles après l'éclosion, même une fois arrivés dans le lagon pour ces derniers, réduisant ainsi fortement leurs chances de survie.

5.1.3 Les microchiroptères

Les éléments présentés ici sont issus d'échanges avec les membres du Groupe Chiroptères Océan Indien (GCOI).

Les connaissances sur les chauves-souris sont encore limitées à La Réunion, puisqu'elles ne font l'objet de suivis réguliers que depuis peu de temps avec la création, en 2007, du Parc National qui s'y intéresse depuis quelques années, et la création, en 2016, de l'association Groupe Chiroptères Océan Indien (GCOI).

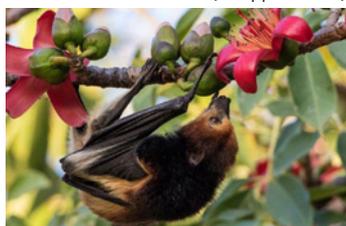
Auparavant les données disponibles provenaient de missions spécifiques de naturalistes de passage, ou produites dans le cadre d'études d'impact préalables à des aménagements. On dispose de peu d'informations liées à des captures. A ce jour, deux espèces de microchiroptères sont avérées et décrites :



Taphien de Maurice
Source : faune-reunion.fr (Michel Yerokine)



Petit Molosse de La Réunion
Source : faune-reunion.fr (Philippe Jourde)



Roussette Noire
Source : iucn.org (Jacques de Speville)

- le **Taphien de Maurice** *Taphozous mauritanus*, espèce protégée indigène à la Réunion. Il est présent dans les Mascareignes, à Madagascar, aux Comores et en Afrique sur une large bande qui va de la côte Est jusqu'au Golfe de Guinée. C'est une espèce insectivore chassant assez haut dans la colonne d'air.

L'espèce est inscrite à la liste rouge régionale de l'UICN en tant qu'espèce quasi-menacée ;

- le **Petit Molosse de La Réunion** *Mormopterus francoismoutoui*, espèce protégée endémique de La Réunion. L'espèce est assez commune sur le département et se trouve classée en préoccupation mineure sur la liste rouge des mammifères de La Réunion (2010). Espèce insectivore chassant toute la nuit, avec un pic d'activité 3h après le coucher du soleil en période de mise-bas ;

- autres espèces :

- des types acoustiques distincts de ceux de ces deux espèces ont également été entendus à La Réunion et laissent supposer la présence de un voire deux autres taxa de microchiroptères sur l'île ;

- on observe également depuis 2000/2001 dans l'est de l'île le retour d'un mégachiroptère, la **Roussette Noire** *Pteropus niger* ; mais cette espèce, encore moins bien connue et dont la population semble très réduite, n'a pas été intégrée à l'étude faute de connaissances et même d'hypothèses fiables sur l'interaction de cette espèce avec l'éclairage artificiel. On peut simplement constater que son activité jusqu'à présent semble quasi-exclusivement nocturne.

Enjeux liés à l'éclairage artificiel

La présence de Chiroptères a été constatée de manière quasi-systématique lors des relevés de terrain réalisés dans le cadre de la présente étude. Phénomène évoqué dans la synthèse bibliographique, l'éclairage provoque en effet un important effet d'attraction sur l'entomofaune. En particulier, les lumières de stades (notamment les lumières « blanches », à Iodures Métalliques) semblaient provoquer une attirance forte d'insectes volants et de leurs prédateurs, dont des Chiroptères.



Chauves-souris photographiées à proximité d'un point lumineux à Salazie, Îlet Bois-de-Pomme



Concentration d'insectes quelques secondes après l'allumage d'un éclairage extérieur à Saint-Denis

La répartition de la ressource trophique n'est pas homogène dans l'environnement et les proies des Chiroptères se concentrent autour des éclairages. Les zones sombres, non éclairées sont au contraire « vidées » de leurs ressources (= effet « puits » provoqué par l'éclairage artificiel).

Les chauves-souris se rapprochent ainsi des zones éclairées, urbanisées, pour chasser.

Il est possible (non vérifié, non documenté) que le Petit Molosse en vienne à s'accommoder plus facilement de gîtes anthropiques et se rencontre plus fréquemment dans les habitations, ce qui induit des problèmes de cohabitation assez fréquents avec l'homme sur l'île.

En zone éclairée, les insectes et notamment les grosses proies telles que les papillons tympanés, très prisés par les chauves-souris, sont attirés puis « faits prisonniers » par la source de lumière artificielle.

Il semblerait par ailleurs que le rôle de leurs tympans (capacité de détection des sons et notamment des émissions sonores des Chiroptères) est inhibé en condition d'éclairage artificiel. De ce fait, ces papillons y sont moins attentifs à la présence de prédateurs.

Alors qu'en milieu non éclairé, le Taphien de Maurice s'est spécialisé au cours de son évolution dans la chasse de ces papillons tympanés (adaptation des fréquences d'émissions sonores par rapport à la gamme de fréquence audible par ces papillons pour éviter d'être repéré), en zone éclairée, ces proies deviennent accessibles pour toutes les espèces de chauves-souris. Ce phénomène induit ainsi une compétition interspécifique entre les prédateurs (notamment entre Petit Molosse et Taphien) et une consommation accrue de ces papillons. Les effets sur les différentes populations ne sont pas évalués à ce jour.

5.1.4 Perspectives

Comme vu dans la synthèse bibliographique au Sous-chapitre 2.3 (page 14), un très grand nombre d'espèces et taxons sont sensibles à l'intrusion de l'éclairage artificiel dans la nuit. Pour des raisons de temps et de connaissances disponibles, cette étude s'est cependant concentrée sur un éventail restreint d'espèces.

Compte-tenu de la biodiversité locale, il serait intéressant d'étendre cette réflexion à la végétation (incidence directe, et indirecte en lien avec la pollinisation entomophile, par les roussettes, etc.), à l'écosystème du lagon (coraux, algues, crustacés, poissons, zoo et phytoplancton, etc.), et littoral (bichique, baleines, dauphins, etc.), aux reptiles (geckos, etc.) et oiseaux terrestres, etc.



5.2 SYNTHÈSE DES EFFETS IDENTIFIÉS DE L'ÉCLAIRAGE ARTIFICIEL SUR LES ESPÈCES RETENUES

5.2.1 Effet répulsif et fragmentant

Un des effets importants de l'éclairage artificiel sur la biodiversité identifié dans la bibliographie de ce rapport est l'effet fragmentant de la lumière : certaines espèces animales présentent en effet un caractère lucifuge, c'est-à-dire qu'elles fuient les sources lumineuses, pour des raisons qui restent à ce stade des hypothèses : fuite d'éventuels prédateurs, éblouissement, de zones où le dérangement serait probable, etc. De fait, pour les espèces qui se déplacent la nuit pour répondre à leurs besoins vitaux (alimentation, reproduction, migration, etc.), l'intrusion de pollution lumineuse génère un stress important et peut fortement affecter la survie de ces espèces, en les isolant, en les obligeant à réaliser de plus longues distances pour s'alimenter, pour se reproduire (ponte, ...), etc.

Parmi les groupes d'espèces retenus dans cette étude, le phénomène semble essentiellement concerner les tortues femelles adultes.

La phase terrestre du cycle de vie de ces tortues est très courte comparée au temps qu'elles passent en mer, mais est cruciale pour la survie de leurs espèces puisqu'elle correspond à la phase de reproduction. Or, la topographie de l'île fait que le littoral réunionnais concentre une majorité de sa population humaine, et en corollaire un important niveau d'infrastructures (routes, habitations, restaurants, hôtels) qui s'accompagnent de très nombreux points lumineux, pour beaucoup d'entre eux visibles depuis la mer, voire orientés directement vers le lagon ou l'océan.



Vue de la côte de Sainte-Marie au niveau de l'aéroport Roland Garros depuis la mer - Crédit photo : Martin Riethmuller



Carte de luminance illustrant les quantités de lumière perçues depuis la plage à hauteur de tortue marine (valeurs en cd/m^2)

5.2.2 Effet attractif et désorientant

Toutes les espèces étudiées ici subissent à au moins un stade de leur vie l'effet attractif et/ou désorientant des éclairages artificiels :

- les échouages massifs de Pétrels et Puffins constatés sur les zones fortement éclairées (Port industriel, stades, boulodromes, etc.), en particulier littorales, montrent que ces oiseaux marins sont attirés par ces éclairages, puis, d'après la bibliographie et des témoignages locaux, tournent autour jusqu'à épuisement et échouage. Les connaissances des comportements, trajets de vols et spécificités en fonction du stade de développement ne sont pas encore suffisamment développées sur ces espèces, mais il semble également y avoir un effet de barrière lumineuse « captante » au niveau du littoral, lors du premier trajet depuis les terriers vers la mer, mais également potentiellement pour les individus de retour de mer ou venant juste de quitter la terre ;
- la bibliographie documente également largement cet effet attractif et désorientant sur les juvéniles de tortues à l'éclosion, ainsi que sur les femelles adultes après une ponte ou tentative de ponte ;
- enfin, il est documenté, et a pu être constaté lors de la phase terrain de cette étude, que les éclairages, notamment les technologies utilisées sur les stades et boulodromes majoritairement équipés en lampes aux Iodures métalliques, concentrent les insectes volants, proies des micro-chiroptères qui se retrouvent en nombre en chasse autour de ces lampes. Pour mémoire, Siblet (2008) évoquait une distance d'attraction du point lumineux pouvant aller jusqu'à 700 mètres pour certains insectes.

Comme ailleurs, le parc d'éclairage réunionnais génère des impacts sur la biodiversité locale, et est identifié comme un menace importante notamment pour les Pétrels et les tortues. La zone littorale concentre en particulier beaucoup d'enjeux car :

- elle concentre la majorité des échouages d'oiseaux marins ;
- elle concerne directement les tortues pour la phase de ponte ;
- elle comporte un important réseau d'infrastructures routières, parfois éclairées ;
- elle accueille de nombreux restaurants, hôtels et bars de plage sur la côte ouest, mais aussi d'habitations, dont certains sont positionnés en arrière-plage et éclairent directement le lagon ;
- elle est équipée de nombreux équipements de loisirs dont certains sont fortement éclairés, parfois toute la nuit (boulodrome, stades de foot, promenade en bord de mer) ;
- elle accueille des installations industrielles fortement éclairées en particulier sur la commune du Port ;
- il subsiste peu d'obstacles à la lumière depuis la mer (exemple : masque de végétation) ;
- les dispositifs d'éclairages sont souvent orientés vers la mer.

Les zones de pentes et les cirques présentent également des enjeux, notamment au niveau des stades/ parcs publics équipés de mâts élevés et de projecteurs éclairant le ciel, et des zones urbaines parfois très fortement éclairées.

6. DISPOSITIFS RÉGLEMENTAIRES, OUTILS ET TECHNIQUES MOBILISABLES POUR AMÉLIORER LA PRISE EN COMPTE DE L'ENJEU BIODIVERSITÉ DANS LA PLANIFICATION ET L'ENTRETIEN DE L'ÉCLAIRAGE

6.1 DISPOSITIFS RÉGLEMENTAIRES

Plusieurs réglementations nationales concernent les questions d'éclairage artificiel nocturne, essentiellement au regard des aspects énergétiques et environnementaux (en lien avec la biodiversité ou l'observation du ciel nocturne).

6.1.1 Les lois issues du Grenelle de l'Environnement

Les lois Grenelle I (n° 2009-967 du 3 août 2009) et Grenelle II (n° 2010-788 du 12 juillet 2010) ont initié la prise en considération des enjeux environnementaux liés à l'éclairage artificiel nocturne, notamment les enjeux énergétiques, les impacts sur la biodiversité et les nuisances lumineuses. On pourra citer les extraits suivants, ces lois ayant été ensuite suivies des décrets décrits ci-après.

Article 41 de la loi Grenelle I : « *Les émissions de lumière artificielle de nature à présenter des dangers ou à causer un trouble excessif aux personnes, à la faune, à la flore ou aux écosystèmes, entraînant un gaspillage énergétique ou empêchant l'observation du ciel nocturne feront l'objet de mesures de prévention, de suppression ou de limitation...* »

Article 173 de la loi Grenelle II modifiant l'article L583-1, L583-2 et L583-3 du code de l'Environnement : « *Pour prévenir ou limiter les dangers ou trouble excessif aux personnes et à l'environnement causés par les émissions de lumière artificielle et limiter les consommations d'énergie, des prescriptions peuvent être imposées, pour réduire ces émissions, aux exploitants ou utilisateurs de certaines installations lumineuses, sans compromettre les objectifs de sécurité publique et de défense nationale ainsi que de sûreté des installations et ouvrages sensibles.*

Les installations lumineuses concernées sont définies par décret en Conseil d'Etat selon leur puissance lumineuse totale, le type d'application de l'éclairage, la zone d'implantation et les équipements mis en place. »

6.1.2 Décret n° 2011-831 du 12 juillet 2011 relatif à la prévention et à la limitation des nuisances lumineuses

Ce décret établi en application des lois Grenelle définit les installations lumineuses (et les équipements dont elles peuvent être constituées) concernées par la réglementation. Il précise les conditions dans lesquelles ces prescriptions peuvent être adaptées aux caractéristiques des zones d'implantation de ces installations. Il donne compétence au ministre chargé de l'environnement et au préfet pour interdire ou limiter le fonctionnement dans le temps de certaines installations lumineuses.

Enfin, il donne la possibilité à l'autorité compétente de sanctionner les infractions à la réglementation au moyen d'une amende administrative.

Remarque : A ce jour, ce décret n'a été rendu opérationnel que par un arrêté ministériel présenté ci-après au chapitre 6.1.4, traitant de l'éclairage nocturne des bâtiments non résidentiels. Le reste du champ des possibles ouvert par ce décret est suspendu à la prise d'autres arrêtés ministériels.

Ne sont ici présentées que les parties considérées les plus importantes de ce décret, présent dans sa totalité en Annexe 8.3 : Décret n° 2011-831 du 12 juillet 2011 relatif à la prévention et à la limitation des nuisances lumineuses (page 144).

Article 1

(...)

« Art. R. 583-2.-*Afin de prévenir, réduire et limiter les nuisances lumineuses et les consommations d'énergie, les dispositions, prévues aux articles L. 583-2 et L. 583-3, s'appliquent aux installations lumineuses destinées aux usages suivants :*

- *éclairage extérieur destiné à favoriser la sécurité des déplacements, des personnes et des biens et le confort des usagers sur l'espace public ou privé, en particulier la voirie, à l'exclusion des dispositifs d'éclairage et de signalisation des véhicules ;*
- *éclairage de mise en valeur du patrimoine, tel que défini à l'ARTICLE L. 1 DU CODE DU PATRIMOINE, du cadre bâti, ainsi que des parcs et jardins ;*
- *éclairage des équipements sportifs de plein air ou découvrables ;*
- *éclairage des bâtiments, recouvrant à la fois l'illumination des façades des bâtiments et l'éclairage intérieur émis vers l'extérieur de ces mêmes bâtiments ;*
- *éclairage des parcs de stationnement non couverts ou semi-couverts ;*
- *éclairage événementiel extérieur, constitué d'installations lumineuses temporaires utilisées à l'occasion d'une manifestation artistique, culturelle, commerciale ou de loisirs ;*
- *éclairage de chantiers en extérieur.*

Art. R. 583-3.-*Les prescriptions techniques prévues au présent chapitre ne s'appliquent pas à la publicité lumineuse et aux enseignes lumineuses, régies respectivement par les articles L. 581-9 et L. 581-18.*

Art. R. 583-4.-*Les prescriptions techniques, arrêtées par le ministre chargé de l'environnement en application du I de l'article L. 583-2, sont définies en fonction de l'implantation des installations lumineuses selon qu'elles se situent dans les zones qualifiées d'agglomération par les règlements relatifs à la circulation routière ou les zones en dehors de ces agglomérations.*

Dans les espaces naturels mentionnés dans le tableau annexé au présent article ainsi que dans les sites d'observation astronomique, dont la liste et le périmètre sont fixés par un arrêté du ministre chargé de l'environnement pris après avis du ministre chargé de la recherche quand sont en cause des sites d'observation placés sous son autorité, **les installations lumineuses font l'objet de mesures plus restrictives que celles appliquées aux dispositifs implantés en agglomération et en dehors des agglomérations.**

Ces prescriptions peuvent notamment porter sur les niveaux d'éclairage (en lux), l'efficacité lumineuse et énergétique des installations (en watts par lux et par mètre carré) et l'efficacité lumineuse des lampes (en lumens par watt), la puissance lumineuse moyenne des installations (flux lumineux total des sources rapporté à la surface destinée à être éclairée, en lumens par mètre carré), les luminances (en candelas par mètre carré), la limitation des éblouissements, la distribution spectrale des émissions lumineuses ainsi que sur les grandeurs caractérisant la distribution spatiale de la lumière ; elles peuvent fixer les modalités de fonctionnement de certaines installations lumineuses en fonction de leur usage et de la zone concernée.

Art. R. 583-5.-Le ministre chargé de l'environnement peut, par arrêté pris après avis du Conseil national de protection de la nature, en application du II de l'article L. 583-2, interdire ou limiter, à titre temporaire ou permanent, les installations lumineuses de type canon à lumière dont le flux lumineux est supérieur à 100 000 lumens, les installations à faisceaux de rayonnement laser ainsi que les installations lumineuses situées dans les espaces naturels et les sites d'observation astronomique mentionnés à l'article R. 583-4.

(...)

Art. R. 583-6.-Les prescriptions techniques fixées par le ministre chargé de l'environnement et applicables aux installations lumineuses, prévues aux I et II de l'article L. 583-2, peuvent faire l'objet d'arrêtés préfectoraux d'adaptation pris en application du III de l'article L. 583-2 après avis du conseil départemental de l'environnement, des risques sanitaires et technologiques.

(...)

Liste des espaces naturels protégés mentionnés aux livres III et IV du code de l'environnement et visés par le présent décret :

- espaces classés par les décrets de création des parcs nationaux mentionnés aux articles L. 331-2 et R. 331-46.
- réserves naturelles et périmètres de protection mentionnés aux articles L. 332-2 et L. 331-16.

(...)

À retenir

Le ministre chargé de l'environnement peut proposer d'encadrer l'usage de dispositifs d'éclairage dans les espaces naturels protégés, dont le cœur du Parc National et la Réserve Marine. Le préfet peut adapter ces recommandations au niveau local. A ce jour, le texte ministériel n'est pas sorti, ce dispositif est donc non mobilisable pour le moment.

Actualité

Un collectif d'association a déposé un recours en conseil d'Etat début 2017 pour demander à l'Etat de produire les arrêtés précisant et mettant en application ce décret.

6.1.3 Décret n° 2012-118 du 30 janvier 2012 relatif à la publicité extérieure, aux enseignes et aux pré-enseignes

« Ce décret encadre et précise la mise en œuvre de la réforme de la publicité extérieure. (...) »

Il institue une obligation d'extinction des dispositifs lumineux : les publicités lumineuses devront être éteintes la nuit, entre une heure et six heures du matin, sauf pour les aéroports et les unités urbaines de plus de 800 000 habitants, pour lesquelles les maires édicteront les règles applicables. Les enseignes lumineuses suivront les mêmes règles.

Les publicités lumineuses, en particulier numériques, sont spécifiquement encadrées, en ce qui concerne leur surface, leur luminance, leur consommation énergétique, leur dispositif anti-éblouissement. »

(...)

Partie publicités lumineuses



Publicité lumineuse à Saint-Denis

« Les règlements locaux de publicité, adaptations communales des règles nationales, ne pourront dorénavant qu'être plus restrictifs que la règle nationale. Ils seront élaborés, révisés et modifiés selon les dispositions du code de l'environnement, notamment les articles L 581-14 et suivants. Les règlements locaux de publicité seront annexés aux plans locaux d'urbanisme. »

(...)

Art. R. 581-15. – « La demande de l'autorisation d'installer certains dispositifs de publicité lumineuse prévue par le troisième alinéa de l'article L. 581-9 outre les informations et pièces énumérées par l'article R. 581-7, l'analyse du cycle de vie du dispositif, sa visibilité depuis la voie publique la plus proche ainsi que l'indication des valeurs moyennes et maximales de luminance telles que définies par arrêté ministériel.

*L'autorisation d'installer un dispositif de publicité lumineuse (...) est accordée, **compte tenu notamment du cadre de vie environnant et de la nécessité de limiter les nuisances visuelles pour l'homme et l'environnement** (...)*

L'autorisation d'installer un dispositif de publicité lumineuse ou un mobilier urbain destiné à supporter de la publicité lumineuse est délivrée pour une durée maximale de huit ans. »

(...)

Dispositions particulières applicables à la publicité lumineuse

Art. R. 581-34. – « La publicité lumineuse est la publicité à la réalisation de laquelle participe une source lumineuse spécialement prévue à cet effet.

La publicité lumineuse ne peut être autorisée à l'intérieur des agglomérations de moins de 10 000 habitants ne faisant pas partie d'une unité urbaine de plus de 100 000 habitants. »

Remarque : Unités urbaines de plus de 100 000 habitants à La Réunion (source : données INSEE 2010) : unité urbaine de Saint-Paul (qui comprend les communes de Le Port, La Possession et Saint-Paul), unité urbaine de Saint-Pierre (qui comprend les communes de l'Entre-Deux, Saint-Pierre et le Tampon) et unité urbaine de Saint-Denis (qui comprend les communes de Saint-Denis et de Sainte-Marie).

Par déduction, la publicité lumineuse est donc interdite dans les communes restantes de moins de 10 000 habitants, soit en 2010 : La Plaine des Palmistes, Cilaos, Sainte-Rose et Trois Bassins.

« À l'intérieur des agglomérations de plus de 10 000 habitants et dans celles de moins de 10 000 habitants faisant partie d'une unité urbaine de plus de 100 000 habitants, ainsi qu'à l'intérieur de l'emprise des aéroports et des gares ferroviaires situés hors agglomération, la publicité lumineuse apposée sur un mur, scellée au sol ou installée directement sur le sol ne peut avoir une surface unitaire excédant 8 mètres carrés, ni s'élever à plus de 6 mètres au-dessus du niveau du sol. »

Remarque : concerne les autres communes de La Réunion.

« La publicité lumineuse respecte des normes techniques fixées par arrêté ministériel, portant notamment sur les seuils maximaux de luminance, exprimés en candelas par mètre carré, et sur l'efficacité lumineuse des sources utilisées, exprimée en lumens par watt. »

(...)

Art. R. 581-35. – « Dans les unités urbaines de moins de 800 000 habitants, les publicités lumineuses sont éteintes entre 1 heure et 6 heures, à l'exception de celles installées sur l'emprise des aéroports, de celles éclairées par projection ou transparence supportées par le mobilier urbain et des publicités numériques supportées par le mobilier urbain, à condition que leurs images soient fixes. »

(...)

« Il peut être dérogé à cette extinction lors d'événements exceptionnels définis par arrêté municipal ou préfectoral. »

(...)

« Afin d'éviter les éblouissements, les dispositifs publicitaires numériques situés à l'intérieur des agglomérations et, en dehors des agglomérations, sur l'emprise des aéroports et des gares ferroviaires sont équipés d'un système de gradation permettant d'adapter l'éclairage à la luminosité ambiante. »

(...)

Art. R. 581-76. – « La subordination d'un dispositif publicitaire à l'octroi d'une autorisation par l'autorité compétente en matière de police ne fait pas obstacle à la fixation, par le règlement local de publicité, de règles plus restrictives que la réglementation nationale, notamment en matière de publicité lumineuse et d'enseignes lumineuses. »



Partie enseignes lumineuses

Art. R. 581-59. – « Une enseigne lumineuse est une enseigne à la réalisation de laquelle participe une source lumineuse spécialement prévue à cet effet.

Les enseignes lumineuses satisfont à des normes techniques fixées par arrêté ministériel, portant notamment sur les seuils maximaux de luminance, exprimés en candelas par mètre carré et l'efficacité lumineuse des sources utilisées, exprimée en lumens par watt.

Les enseignes lumineuses sont éteintes entre 1 heure et 6 heures, lorsque l'activité signalée a cessé.

Lorsqu'une activité cesse ou commence entre minuit et 7 heures du matin, les enseignes sont éteintes au plus tard une heure après la cessation d'activité de l'établissement et peuvent être allumées une heure avant la reprise de cette activité.

Il peut être dérogé à cette obligation d'extinction lors d'événements exceptionnels définis par arrêté municipal ou préfectoral.

Les enseignes clignotantes sont interdites, à l'exception des enseignes de pharmacie ou de tout autre service d'urgence. »

Une circulaire précise les modalités d'application de ce décret. Elle est téléchargeable à l'adresse suivante :

http://circulaire.legifrance.gouv.fr/pdf/2014/03/cir_38105.pdf

À retenir

L'installation d'une publicité lumineuse doit tenir compte du cadre de vie environnant et de la nécessité de limiter les nuisances lumineuses pour l'homme et l'environnement : il est donc possible de demander la prise en compte de sensibilités environnementales particulières (corridor écologique nocturne par exemple) lors de l'installation d'un tel dispositif.

La publicité lumineuse est à priori interdite à la Plaine de Palmistes, à Cilaos, à Sainte-Rose et à Trois Bassins. Ailleurs, la surface de celle-ci est encadrée.

Les publicités lumineuses doivent être éteintes entre 1h et 6h du matin, à l'exception de celles installées sur l'emprise des aéroports, de celles éclairées par projection ou transparence supportées par le mobilier urbain et des publicités numériques supportées par le mobilier urbain, à condition que leurs images soient fixes. Il peut être dérogé à l'obligation d'extinction par autorisation préfectorale ou municipale pour un événement exceptionnel. Des normes encadrent la luminance et l'efficacité lumineuse des dispositifs de publicité lumineuses.

Les enseignes lumineuses doivent aussi être éteintes entre 1h et 6h du matin, lorsque l'activité a cessé.

La vérification du respect de ces règles est du pouvoir du maire pour les communes et EPCI dotés d'un règlement local de publicité ; pour les autres communes et EPCI, le contrôle incombe aux services préfectoraux.

L'application de cet arrêté est jugé insuffisant par l'ANPCEN, faute notamment à des contrôles trop rares²¹.

21. https://www.anpcen.fr/?id_rub=&id_ss_rub=127&id_actudetail=165.

6.1.4 Arrêté du 25 janvier 2013 relatif à l'éclairage nocturne des bâtiments non résidentiels afin de limiter les nuisances lumineuses et les consommations d'énergie

Cet arrêté ministériel est le premier pris en application du décret sur la prévention des nuisances lumineuses.

Il s'applique aux installations d'éclairage des bâtiments non résidentiels, recouvrant à la fois l'éclairage intérieur émis vers l'extérieur de ces bâtiments et l'illumination des façades de bâtiments, à l'exclusion des installations d'éclairage destinées à assurer la protection des biens lorsqu'elles sont asservies à des dispositifs de détection de mouvement ou d'intrusion.

Les éclairages intérieurs de locaux à usage professionnel sont éteints une heure après la fin de l'occupation de ces locaux. Les illuminations des façades des bâtiments sont éteintes au plus tard à 1 heure. Les éclairages des vitrines de magasins de commerce ou d'exposition sont éteints au plus tard à 1 heure ou une heure après la fin de l'occupation de ces locaux si celle-ci intervient plus tardivement.

ILLUSTRATION DE L'ARRÊTÉ DU 25 JANVIER 2013



Les éclairages des vitrines de magasins de commerce ou d'exposition peuvent être allumés à partir de 7 heures du matin ou une heure avant le début de l'activité si celle-ci s'exerce plus tôt. Les illuminations des façades des bâtiments ne peuvent être allumées avant le coucher du soleil.

6.1.5 La loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages du 8 août 2016

Cette loi intègre dans le droit de l'environnement la prise en compte de la problématique de la pollution lumineuse.

Elle crée ou modifie notamment les articles suivants :

- elle modifie l'article L110-1 qui définit les éléments constitutifs du patrimoine commun de la nation. Celui-ci précise notamment que :
« I. - Les espaces, ressources et milieux naturels terrestres et marins, les sites, **les paysages diurnes et nocturnes**, la qualité de l'air, les êtres vivants et la biodiversité **font partie du patrimoine commun de la nation**. Ce patrimoine génère des services écosystémiques et des valeurs d'usage. (...) »
- elle modifie l'article L110-2 :
« Les lois et règlements organisent le droit de chacun à un environnement sain. Ils contribuent à assurer un équilibre harmonieux entre les zones urbaines et les zones rurales ainsi que la préservation et l'utilisation durable des continuités écologiques.
Il est du devoir de chacun de veiller à la sauvegarde et de contribuer à la protection de l'environnement, **y compris nocturne**. (...) »
- elle modifie l'article L219-8 qui concerne la protection du milieu marin :
« (...) 5° La " pollution " consiste en l'introduction directe ou indirecte, par suite de l'activité humaine, de déchets, de substances, ou d'énergie, **y compris de sources sonores sous-marines ou de sources lumineuses d'origine anthropique, qui entraîne ou est susceptible d'entraîner des effets nuisibles pour les ressources vivantes et les écosystèmes marins** (...) »
- elle crée l'article L.350-1 C qui concerne la protection des paysages :
(...) « Les objectifs de qualité paysagère mentionnés à l'article L. 333-1 visent également à garantir **la prévention des nuisances lumineuses** définie à l'article L. 583-1. »

Pour mémoire, cet article L583-1 (créé par la loi du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement) indique :

« Pour prévenir ou limiter les dangers ou trouble excessif aux personnes et à l'environnement causés par les émissions de lumière artificielle et limiter les consommations d'énergie, des prescriptions peuvent être imposées, pour réduire ces émissions, aux exploitants ou utilisateurs de certaines installations lumineuses, sans compromettre les objectifs de sécurité publique et de défense nationale ainsi que de sûreté des installations et ouvrages sensibles.

Les installations lumineuses concernées sont définies par décret en Conseil d'État selon leur puissance lumineuse totale, le type d'application de l'éclairage, la zone d'implantation et les équipements mis en place. »

Synthèse des textes nationaux applicables spécifiquement à l'éclairage

Eclairage des bâtiments non résidentiels et publicités et enseignes lumineuses.

Pas encore possible de réglementer sur : éclairage des voiries, stades, parkings, etc.

6.1.6 Les Règlements Locaux de Publicité (RLP)

Les enseignes et publicités lumineuses évoquées au paragraphe 6.1.3 (page 110) peuvent faire l'objet d'une réglementation plus restrictive si la commune ou l'EPCI compétent prend l'initiative de rédiger un règlement local de publicité.

Sous-section 4 du code de l'environnement : Règlements locaux de publicité

Article L581-14

« L'établissement public de coopération intercommunale compétent en matière de plan local d'urbanisme, (...) ou, à défaut, la commune peut élaborer sur l'ensemble du territoire de l'établissement public ou de la commune un règlement local de publicité qui adapte les dispositions prévues aux articles L. 581-9 et L. 581-10.

Sous réserve des dispositions des articles L. 581-4, L. 581-8 et L. 581-13, le règlement local de publicité définit une ou plusieurs zones où s'applique une réglementation plus restrictive que les prescriptions du règlement national.

Il peut aussi définir des zones dans lesquelles tout occupant d'un local commercial visible depuis la rue ou, à défaut d'occupant, tout propriétaire doit veiller à ce que l'aspect extérieur de ce local ne porte pas atteinte au caractère ou à l'intérêt des lieux avoisinants.

(...)

Le cas échéant, les dispositions du règlement local de publicité doivent être compatibles avec les orientations de protection, de mise en valeur et de développement durable de la charte applicables à l'aire d'adhésion d'un parc national mentionnées au 2° du I de l'article L331-3.

(...)

Les compétences en matière de police de la publicité sont exercées par le préfet. Toutefois, s'il existe un règlement local de publicité, ces compétences sont exercées par le maire au nom de la commune. Dans ce dernier cas, à défaut pour le maire de prendre les mesures prévues aux articles L. 581-27, L. 581-28 et L. 581-31 dans le délai d'un mois suivant la demande qui lui est adressée par le représentant de l'État dans le département, ce dernier y pourvoit en lieu et place du maire.

(...) »

RLP - Contexte local

Plusieurs communes sont dotées d'un règlement local de publicité : Saint-Denis, Le Port et Saint-Pierre. Saint-Paul est en train d'élaborer le sien, et Saint-Pierre le révisé. Le Parc National, en tant que personne publique associée, peut être amené à émettre des recommandations sur ce document, comme c'est le cas actuellement à Saint-Pierre.

RLP de la commune du Port

Dans le seul RLP réunionnais approuvé et disponible en ligne (Le Port), le volet « publicité lumineuse » apparaît mais n'est pas très développé :

- Dans les zones de publicité restreintes N° 1, 2 et 3 :

(...)

- La publicité lumineuse autre que celle supportant des affiches éclairées par projection ou transparence est interdite.

(...)

- Pour autant, l'exposé des motifs (p7) du RLP indique que :
« Dans un souci de protection et d'amélioration du cadre de vie, la Ville de Le Port a décidé d'apporter une attention particulière à l'implantation des panneaux publicitaires sur son territoire.
Leur nombre conséquent et leur situation géographique font qu'ils peuvent, en certains lieux du territoire communal, donner une image de la Ville qui n'est pas compatible avec celle d'une commune **respectueuse de l'environnement.** »

Même si cette ambition semble limitée aujourd'hui au champ de l'environnement visuel pour l'homme, il apparaît tout à fait envisageable, lors de son éventuelle révision, d'étoffer ce RLP sur la prise en compte des enjeux de biodiversité et des nuisances lumineuses, en limitant les publicités lumineuses dans les zones peu ou non urbanisées, sur le littoral, à proximité des ravines et surfaces en eau, et plus globalement en préservant notamment les corridors de déplacements des espèces nocturnes.

A retenir

Le RLP, même si son objet ne se limite pas à cette thématique, peut être un outil intéressant pour la commune ou l'EPCI qui souhaite encadrer et limiter la contribution des professionnels aux nuisances lumineuses sur son territoire (en complément des actions qu'elle peut mener en propre sur son éclairage public, éventuellement en appui d'un syndicat d'éclairage délégataire).

En se basant si possible sur l'identification et la localisation préalables des espèces / milieux / paysages à enjeux « nocturne » et éventuels sites d'observation astronomique, le RLP pourra, par exemple, comprendre un zonage avec d'éventuelles exclusions des publicités et enseignes lumineuses, et/ou des limitations techniques plus restrictives que la réglementation nationale (surface, luminance, hauteur, technologie, horaires d'allumage, etc.).

6.1.7 La réglementation de protection stricte des espèces sauvages

Cette réglementation, qui ne traite pas spécifiquement de la question de l'éclairage mais peut avoir une incidence sur l'usage qui en est fait, a pour objectif de restaurer et de maintenir l'état de conservation des espèces les plus menacées. Elle se traduit dans l'article L. 411-1 du code de l'environnement, qui prévoit un système de protection stricte des espèces de faune et de flore sauvages, dont les listes sont fixées par arrêté ministériel.

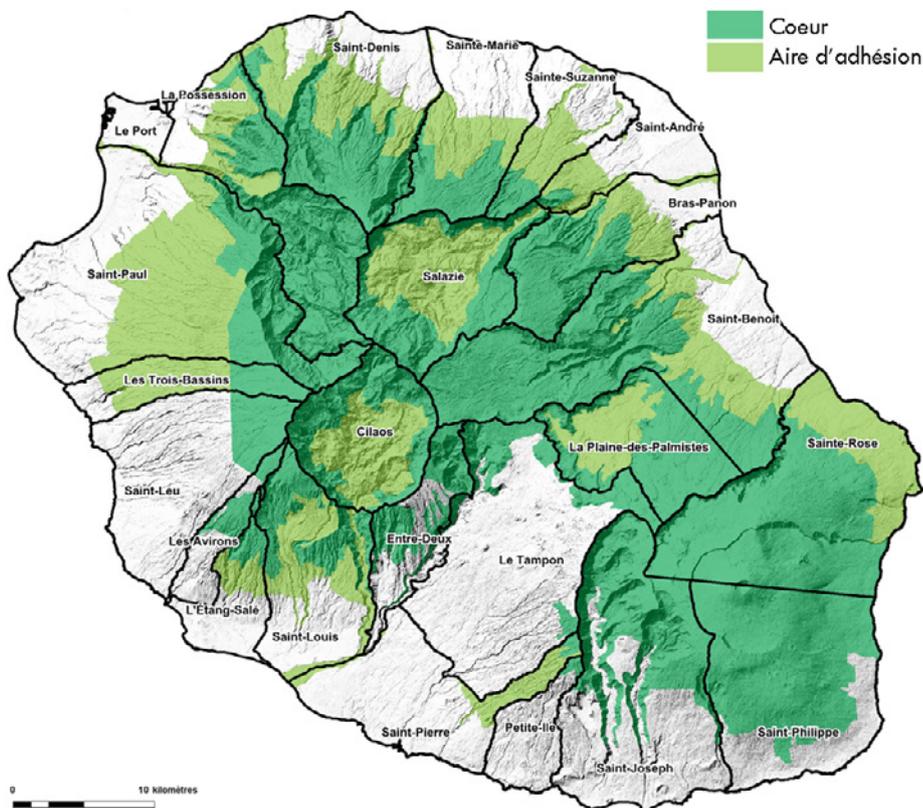
Concernant ces espèces, il est notamment interdit de les capturer, de les transporter, mais aussi de **les perturber intentionnellement, cas qui peut concerner l'utilisation de dispositifs d'éclairage artificiel.** Ces interdictions peuvent s'étendre aux habitats des espèces protégées pour lesquelles la réglementation peut prévoir des interdictions de destruction, de dégradation et d'**altération. Là encore, l'éclairage pouvant altérer le fonctionnement d'un habitat d'espèce, ce motif peut donc être invoqué pour contraindre à l'adaptation voire à l'extinction d'un dispositif d'éclairage.** Le non-respect de ces règles fait l'objet de sanctions pénales.

Ces règles peuvent également être appliquées par anticipation pendant l'instruction d'autorisations de projets ou activités nécessitant des dispositifs d'éclairage, au cours de laquelle on devra s'assurer que ces dispositifs ne viendront pas impacter l'état de conservation des espèces concernées.

6.1.8 La réglementation du Parc National de La Réunion

Le Parc National de La Réunion, créé en mars 2007, couvre une partie importante du territoire de l'île, allant du sommet des volcans jusqu'au bord de mer. Son territoire est partagé entre un cœur, zone la plus naturelle et préservée, qui dispose d'une réglementation spécifique, et d'une zone d'adhésion, dans laquelle les communes volontaires adhèrent à la charte du Parc en vue de créer un espace de transition vers le cœur.

PÉRIMÈTRE EFFECTIF DU PARC NATIONAL DE LA RÉUNION
ARRÊTÉ PRÉFECTORAL N°15-386/SG/DRCTCV4 DU 9 MARS 2015



Source : Parc national de La Réunion

Dans le cœur du Parc, le directeur de l'établissement public dispose d'un certain nombre de prérogatives, et notamment d'autoriser ou non certains projets, ou d'émettre des avis conformes (son avis doit être favorable pour que le projet puisse être autorisé).

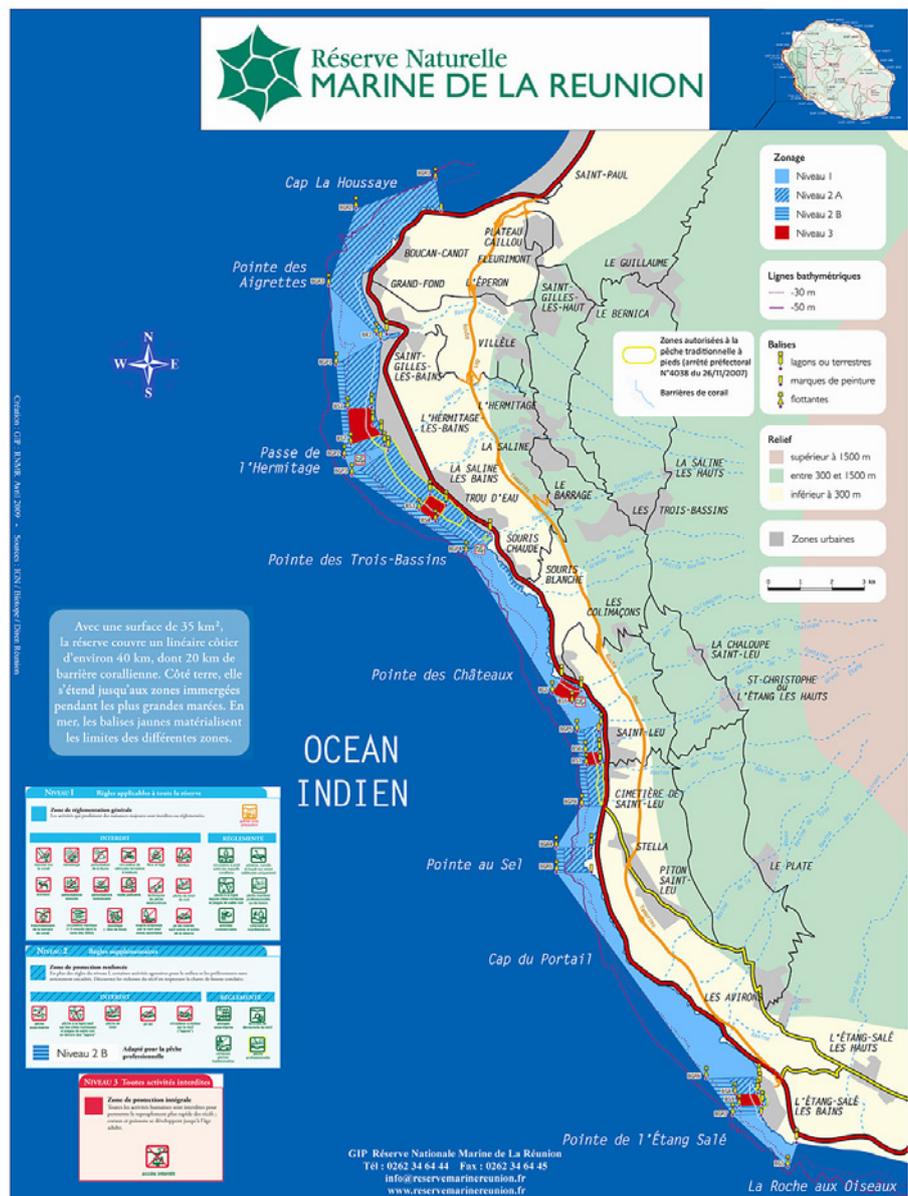
La création d'un nouvel aménagement, la pose d'un nouvel équipement, ou la réalisation de travaux (hormis l'entretien normal d'un équipement existant) dans la zone cœur du parc national sont soumis à une autorisation préalable, délivrée par le directeur du Parc national.

L'autorisation dérogatoire du directeur ou, le cas échéant, son avis conforme lorsque les travaux projetés sont soumis à une autorisation d'urbanisme, peut comprendre des prescriptions relatives à différents sujets, **notamment des prescriptions relatives à la limitation des pollutions lumineuses** et sonores.

Les dispositions s'appliquant en dehors du cœur sont présentées au paragraphe 6.2.2 (page 129), parmi les dispositifs non réglementaires.

6.1.9 La réglementation de la Réserve Naturelle Marine de La Réunion

La Réserve Naturelle Marine de La Réunion, instituée par décret du 21 février 2007, s'étend sur la côte ouest de la Réunion, entre Saint-Paul et L'Étang-Salé-les-Bains.



Son décret de création prévoit un certain nombre de mesures qui permettent d'intervenir sur la question de la pollution lumineuse. En particulier :

Art. 3. – « Dans l'intérêt de la réserve, le préfet peut prendre toute mesure nécessaire en vue d'assurer la connaissance, la conservation ou la restauration des zones récifales, de leur faune et de leur flore.

Il peut notamment :

1. Soumettre à autorisation, réglementer ou interdire temporairement ou définitivement certaines activités dès lors qu'elles portent atteinte à l'écosystème ou à son équilibre, à ses composants ou à toute espèce associée à l'écosystème récifal ; »

Une activité générant une pollution lumineuse, pollution qui potentiellement porte atteinte à l'écosystème et aux espèces associées (poissons, tortues, coraux, etc.) peut donc être réglementée, soumise à autorisation voire interdite par le préfet.

De par le principe de solidarité écologique renforcé par l'article 2 de la loi du 8 août 2016, cet article du décret devrait théoriquement également s'appliquer à des activités situées géographiquement en dehors de la réserve, mais qui génèrent des incidences sur celle-ci. Ce point reste cependant à vérifier.

Art. 4. – *Il est interdit :*

(...)

3. « De porter atteinte aux animaux d'espèces non domestiques, ainsi qu'à leurs oeufs, larves, couvées, portées ou nids, de les troubler, de les déranger, (...) »

Les espèces d'animaux sauvages présentes sur la réserve, qu'elles soient protégées ou non, bénéficient d'une protection stricte sur la réserve, qui va jusqu'à l'interdiction de leur dérangement, l'éclairage artificiel pouvant constituer pour certaines une source de dérangement (exemple concret, l'éclairage de la mer qui fait renoncer des tortues à venir pondre sur la plage, cf. paragraphe 5.1.2 - page 100).

Art. 6. – (...)

II. – « *Il est interdit :*

(...)

2. *De troubler le fonctionnement écologique du milieu par toute perturbation sonore ou lumineuse, sauf si elle est due à des activités ou installations autorisées par le présent décret, par le préfet ou destinées à assurer la sécurité de la navigation. »*

Des activités troublant le fonctionnement écologique du milieu par perturbation lumineuse peuvent éventuellement être autorisées au sein de la réserve, mais elles sont alors encadrées par le décret de création de la réserve ou un arrêté préfectoral (sauf si elles sont destinées à assurer la sécurité de la navigation). L'éventuel arrêté préfectoral autorisant l'activité pourra alors comprendre des mesures spécifiques aux perturbations lumineuses, en vue de les réduire ou de les encadrer (mesures calendaires, horaires, portant sur les dispositifs d'éclairage, les puissances, etc.).

RÈGLEMENTATION APPLICABLE À TOUTE LA RÉSERVE MARINE DE LA RÉUNION

NIVEAU I Règles applicables à toute la réserve

Zone de réglementation générale
Les activités qui produisent des nuisances majeures sont interdites ou réglementées.

palmer avec précaution

INTERDIT						RÉGLEMENTÉ	

En résumé, il est donc possible, **dans le périmètre de la Réserve**, d'intervenir à plusieurs titres sur la question de la pollution lumineuse. Cependant, la majorité des nuisances lumineuses sont du fait d'installations terrestres, qui sont donc localisées en dehors du périmètre, et pour lesquelles l'outil « Réserve » semble plus complexe à mobiliser seul.

D'autres outils réglementaires ou administratifs, comme le PLU ou l'AOT présentés ci-après, peuvent alors être mis à contribution sur le sujet.

Une autre solution consisterait à mettre en place un périmètre de protection sur la partie terrestre jouxtant la Réserve. Ce dispositif a justement pour objet de protéger depuis les zones périphériques ce qui se trouve dans la Réserve (= zone tampon) ; il est mis en place sur proposition ou avec l'accord des conseils municipaux intéressés.

6.1.10 Le Plan Local d'Urbanisme (PLU)

Le PLU, document de planification de l'urbanisme à l'échelle communale (PLU) ou intercommunale (PLUi), comprend plusieurs pièces obligatoires dans lesquelles les questions de l'éclairage et de la pollution lumineuse peuvent être abordées, dont :

Le rapport de présentation

Dans la première pièce constitutive du PLU, le rapport de présentation, le PLU doit objectiver dans la partie intitulée « État initial de l'environnement » son impact sur l'environnement. Cette partie d'analyse des impacts devrait donc également inclure ceux générés par l'éclairage artificiel sur l'environnement.

Quand le PLU est soumis à évaluation environnementale, le rapport doit également prévoir des mesures qui permettent d'éviter, de réduire, et si nécessaire de compenser ces impacts.

Un PLU vertueux devrait donc comprendre un état initial de l'environnement qui permette d'identifier clairement les secteurs à enjeux environnementaux, notamment les enjeux nocturnes, et proposer un règlement qui permette de limiter les impacts sur ceux-ci, en limitant par exemple les aménagements (infrastructures de transport, habitations, zone d'activité, etc.) sur ces zones, et en émettant des recommandations spécifiques à leur éclairage.

Le Projet d'Aménagement et de Développement Durables (PADD)

Le PADD définit les orientations d'urbanisme, d'aménagement, de paysage, de protection des espaces naturels (...), et de préservation ou de remise en état des continuités écologiques retenues pour l'ensemble de l'EPCI ou de la commune. (L.151-5 du code de l'urbanisme)

On peut donc inclure dans ce PADD des orientations générales de préservation et/ou de restauration de continuités écologiques nocturnes, visant par exemple la préservation de l'obscurité dans ces zones.

Les Orientations d'Aménagement et de Programmation (OAP)

Les OAP doivent respecter les orientations du PADD, et peuvent définir les actions et opérations nécessaires pour mettre en valeur l'environnement, notamment les continuités écologiques, les paysages, ...

Ces OAP peuvent prendre la forme de schémas d'aménagement et préciser les principales caractéristiques des voies et espaces publics (et donc s'intéresser notamment à la question de l'éclairage public).

(L.151-7 du code de l'urbanisme)



Elles définissent des principes qui devront être respectés « dans l'esprit », mais ne sont pas prescriptives. Ces orientations, qui peuvent être sectorisées, peuvent porter par exemple sur des objectifs de niveaux d'éclairage par zones, des types de technologies d'éclairage en fonction des enjeux humains et environnementaux, etc.

La fiche 9 du guide PACA « SRCE : Comment l'intégrer dans mon document d'urbanisme »²² précise les éléments suivants :

En application des articles R.151-6 à 8 du code de l'urbanisme, les OAP permettent (...) de :

- **localiser les éléments naturels à préserver ou à prendre en compte**, notamment les continuités écologiques, au regard des objectifs régionaux (SRCE) et/ou locaux (diagnostic écologique). Les connexions biologiques pouvant être identifiées au même titre que les infrastructures de transport et les espaces verts, elles peuvent aussi faire l'objet d'un **emplacement réservé** ou d'un **espace boisé classé** dans la partie réglementaire du PLU. Il est donc possible de prévoir des emplacements réservés ou un classement en EBC pour préserver une continuité écologique ;
- **traduire les objectifs de préservation ou de remise en bon état** que le PADD du PLU ou PLUi a édictés en définissant pour certains espaces :
 - des **secteurs non constructibles** réservés à des espaces verts intra-urbains ou à des éléments de la Trame Verte et Bleue (TVB à laquelle appartient également la trame « noire », trame nécessaire au déplacement des espèces nocturnes) ;
 - des **secteurs constructibles sous condition** de respect de certaines règles permettant de préserver ou de créer et d'intégrer des continuités en zone urbaine (notion de Nature en Ville), en :
 - déterminant des principes de tracés et de profil en travers de voiries nouvelles (adjonction de bandes enherbées, de noues pour les eaux pluviales, ...)
 - conservant un espace naturel dans un secteur à urbaniser pour faire la liaison avec les réservoirs de biodiversité environnants (espace naturel qui peut donc justifier l'absence d'éclairage) ;
 - définissant des règles d'implantation et de construction des haies ou des clôtures (les haies et clôtures occultantes pouvant être utilisées pour constituer une barrière à des flux lumineux, et préserver ainsi des coupures continues de l'éclairage artificiel).

Pour atteindre leurs objectifs, elles s'articuleront avec le règlement du PLU, les prescriptions réglementaires spécifiques à mettre en place dans le zonage et dans les règles applicables à l'intérieur des zones.

Ces OAP, qui peuvent édicter des principes de traitement de voies ou d'espaces publics, peuvent être prises en complément d'un **Schéma directeur d'éclairage***, ce dernier s'appliquant exclusivement sur les espaces et voies publiques.

* Le principe du **Schéma directeur d'éclairage** (ou charte d'éclairage) s'appuie d'une part sur une hiérarchisation des niveaux d'éclairage sur les voies et espaces concernés en fonction des besoins en lumière artificielle nocturne (tâche visuelle : déplacement selon les typologies d'utilisateurs, loisir, sport, travail...). Ce schéma intègre également un aspect temporel d'évolution des besoins au cours de la nuit (baisse de fréquentation), de la semaine (semaine vs week end) ou de l'année (aspects saisonniers : fréquentation touristique, événements festifs...). Ce schéma peut être complété d'éléments qualitatifs concernant les équipements d'éclairage (caractéristiques des luminaires, performances, esthétiques, ULOR...) et la nature de la lumière émise (couleur, spectre, température...). Pour La Réunion, il aurait vocation à couvrir l'ensemble du territoire pour intégrer l'ensemble des enjeux territoriaux des communes éclairées mais aussi supra-territoriaux pour ce qui concerne notamment la biodiversité.

22. <http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/mise-en-oeuvre-du-srce-paca-dans-les-documents-d-a8733.html>

Le Règlement du PLU

Art L.151-8 du code de l'urbanisme : Le règlement fixe, en cohérence avec le projet d'aménagement et de développement durables, les règles générales et les servitudes d'utilisation des sols (...).

Il est à noter que depuis la loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages, il est possible de prévoir dans les PLU des espaces de continuité écologique (ECE) et des prescriptions spécifiques dans ces espaces grâce aux outils suivants : L.151-22 & 23 et L.151-41 ou par des orientations d'aménagement et de programmation.

*Art L.151,22 : « Le règlement peut imposer une part minimale de **surfaces non imperméabilisées ou éco-aménageables**, éventuellement pondérées en fonction de leur nature, **afin de contribuer au maintien de la biodiversité et de la nature en ville.** »*

*Art L.151-23 : « Le règlement peut identifier et **localiser** les éléments de paysage et **délimiter les sites et secteurs à protéger pour des motifs d'ordre écologique, notamment pour la préservation, le maintien ou la remise en état des continuités écologiques et définir, le cas échéant, les prescriptions de nature à assurer leur préservation.** Lorsqu'il s'agit d'espaces boisés, il est fait application du régime d'exception prévu à l'article L. 421-4 pour les coupes et abattages d'arbres. »*

La préservation ou la remise en état d'une continuité écologique nocturne pouvant nécessiter d'interdire toute source lumineuse sur la zone concernée, cet article nous indique donc qu'il est possible d'intégrer dans le règlement du PLU des prescriptions spécifiques à ce sujet.

« Il peut localiser, dans les zones urbaines, les terrains cultivés et les espaces non bâtis nécessaires au maintien des continuités écologiques à protéger et inconstructibles quels que soient les équipements qui, le cas échéant, les desservent. »

Art L.151-41 : « Le règlement peut délimiter des terrains sur lesquels sont institués :

(...)

*3. Des emplacements réservés aux **espaces verts à créer** ou à **modifier** ou aux **espaces nécessaires aux continuités écologiques** ;*

(...)

En outre, dans les zones urbaines et à urbaniser, le règlement peut instituer des servitudes consistant à indiquer la localisation prévue et les caractéristiques des voies et ouvrages publics, ainsi que les installations d'intérêt général et les espaces verts à créer ou à modifier, en délimitant les terrains qui peuvent être concernés par ces équipements. »

6.1.11 Les Autorisations d'Occupation Temporaire (AOT)

L'occupation du domaine public (trottoirs, places) par un commerce doit répondre à des conditions fixées par l'autorité administrative qui est en charge de sa gestion, généralement la commune. Quand l'occupation concerne le domaine public maritime, c'est la préfecture qui est l'autorité compétente en termes d'autorisation.

Cette occupation nécessite une Autorisation d'Occupation Temporaire (AOT) du domaine public, qui prend la forme d'un arrêté, et entraîne le paiement d'une redevance²³. Ainsi, les commerçants / restaurateurs qui occupent une partie du trottoir, mais également qui exploitent la partie terrestre du domaine public maritime pour une terrasse, etc. sont soumis à une autorisation administrative à durée limitée dans le temps.

23. <https://www.service-public.fr/professionnels-entreprises/vosdroits/F10003>

Or, il est possible d'intégrer des dispositions relatives à l'éclairage dans ces AOT, par exemple en interdisant tout dispositif d'éclairage orienté ou perceptible depuis la plage ou le lagon.

Ces dispositions pourraient avantageusement être mobilisées sur la côte ouest de La Réunion où de nombreux hôtels et restaurants disposent de terrasses à proximité du rivage, en vue de réduire les nuisances que les éclairages de ces sites génèrent sur l'interface terre-mer.

A retenir

Les communes ou la préfecture qui délivrent des AOT à des commerçants peuvent conditionner ces autorisations à des pratiques d'éclairage respectueuses des enjeux locaux, en encadrant par exemple la puissance, l'orientation, la technologie, la hauteur des dispositifs d'éclairage, etc.

6.1.12 Pour information : La loi de transition énergétique Les Plans Climat Air Énergie Territoriaux (PCAET)

La loi de transition énergétique du 17 août 2015 prévoit des actions des EPCI sur le volet éclairage dans le cadre des Plans Climat Air Énergie Territoriaux (PCAET) :

« (...) les établissements publics de coopération intercommunale à fiscalité propre existant au 1er janvier 2015 et regroupant plus de 50 000 habitants adoptent un plan climat-air-énergie territorial au plus tard le 31 décembre 2016. »

(...)

« Lorsque cet établissement public exerce la compétence en matière d'éclairage mentionnée à l'article L. 2212-2 du même code, ce programme d'actions comporte un volet spécifique à la maîtrise de la consommation énergétique de l'éclairage public et de ses nuisances lumineuses. »

Pour autant, à cette date, les 5 EPCI de La Réunion n'ont pas la compétence éclairage, que les communes ont conservé, et ne sont donc pas concernés par ce volet spécifique à l'éclairage public.

6.1.13 Les Certificats d'Économie d'Énergie (CEE)

La loi de programmation et d'orientation de la politique énergétique (loi POPE du 13 juillet 2005) a défini les bases des certificats d'économies d'énergie, obligeant les fournisseurs d'énergie (électricité, gaz, chaleur, froid, fioul domestique) à réaliser des économies d'énergie en entreprenant différentes actions auprès des consommateurs.

La loi sur la transition énergétique reconduit une 3ème période du dispositif des CEE du 1er janvier 2015 au 31 décembre 2017. Les grands fournisseurs d'électricité, gaz, chaleur et froid (exemple : EDF, Engie...), fabricants/distributeurs de fioul domestique et de carburants automobiles sont soumis à des obligations d'économies d'énergie pour un objectif de 700 TWh cumac, pour cette troisième période triennale.

Les obligations et les actions d'économies d'énergie sont comptabilisées en kWh cumac d'énergie finale, « cumac » étant la contraction de « cumulé et actualisé ».

$$\begin{aligned} \text{CEE (KWH CUMAC)} \\ = \\ \text{GAIN ANNUEL (KWH)} \\ \times \\ \text{DURÉE DE VIE (AN)} \\ \times \\ \text{COEFFICIENT} \\ \text{D'ACTUALISATION} \end{aligned}$$

Un bien, un équipement ou une mesure, est caractérisé par l'économie d'énergie qu'il génère sur la durée de l'action: les économies d'énergie sont cumulées. Une actualisation de 4 % est également appliquée : cette actualisation est à la fois financière (le CEE a une valeur économique) et technique (amélioration de la situation de référence dans le temps, donc dépréciation progressive du gain).

Pour faciliter la réalisation d'actions par les acteurs du dispositif, un « catalogue » officiel d'actions élémentaires ou fiches d'opérations standardisées - publié par arrêté ministériel au Journal Officiel - est élaboré avec les acteurs. Chaque fiche indique un « forfait » prédéfini en kWh cumac pour l'action concernée.

Application au domaine de l'éclairage extérieur

Pour ce qui concerne les actions de rénovation d'équipements d'éclairage urbain, elles sont concernées par 5 fiches CEE.

Système de régulation de tension en éclairage extérieur	RES-EC-101
Système de maîtrise de la puissance réactive en éclairage extérieur	RES-EC-102
Système de variation de puissance en éclairage extérieur	RES-EC-103
Rénovation d'éclairage extérieur	RES-EC-104
Horloge astronomique pour l'éclairage extérieur	RES-EC-107

Des prescriptions techniques à respecter pour les équipements d'éclairage extérieur (cf. fiche RES-EC-104)

Rénovation d'éclairage extérieur

1. Secteur d'application
Éclairage public extérieur existant, autoroutier, routier, urbain, dit « fonctionnel », permettant tous les types de circulation (motorisée, cycliste).
Éclairage existant d'ambiances urbaines : rues, avenues, parcs, allées, voies piétonnes.
Éclairage extérieur privé existant : voiries, parkings, parcs, etc.
Cette opération ne concerne ni les illuminations de mise en valeur des sites ni l'éclairage des terrains de sport.

2. Dénomination de l'opération
Rénovation d'éclairage extérieur par dépose de luminaires et mise en place de luminaires neufs dont la source lumineuse peut être remplacée.

3. Conditions pour la délivrance de certificats
Est éligible à cette action toute rénovation pour laquelle chaque luminaire neuf respecte les exigences suivantes :
- ensemble optique fermé d'un degré de protection (IP) de 65 minimum ;
- cas n°1 : efficacité lumineuse ≥ 90 lumens par Watt et ULOR ≤ 1 % (ou, pour les luminaires à LED, ULR ≤ 3 %).
- cas n°2 : efficacité lumineuse ≥ 70 lumens par Watt et ULOR ≤ 10 % (ou, pour les luminaires à LED, ULR ≤ 15 %)

L'efficacité lumineuse est le ratio entre le flux lumineux initial total sortant et la puissance totale du système (y compris les auxiliaires). Les luminaires utilisés pour l'éclairage fonctionnel des voies de circulation doivent respecter les conditions du cas n°1.

La mise en place est réalisée par un professionnel.

La preuve de réalisation de l'opération mentionne :
1- la dépose des luminaires existants ;
2- la mise en place de luminaires neufs ;
3- et le nombre et les caractéristiques des luminaires neufs installés : degré de protection de l'ensemble optique fermé (IP), efficacité lumineuse en lumen par Watt, et ULOR (ou ULR pour les luminaires à LED).

Par dérogation aux points 2 et 3 ci-dessus, la preuve de réalisation de l'opération mentionne la mise en place d'un nombre donné d'équipements, identifiés par leurs marque et référence précises, et est accompagnée par un document issu du fabricant. Ce document mentionne que l'équipement de marque et référence mis en place est un luminaire, avec ses caractéristiques : degré de protection de l'ensemble optique fermé (IP), efficacité lumineuse en lumen par Watt, et ULOR (ou ULR pour les luminaires à LED).

4. Durée de vie conventionnelle
30 ans.

Les prescriptions énoncées sont des minima à respecter pour prétendre à la valorisation des CEE, des prescriptions plus restrictives (exemple : ULOR = 0) peuvent être mises en œuvre en conservant l'éligibilité aux CEE.

6.1.14 Contrat de Performance Énergétique (CPE)

Le contrat de performance énergétique pour les collectivités territoriales

Le Contrat de Performance Énergétique (CPE) est un outil innovant, issu du droit communautaire, qui peut contribuer à faciliter la réalisation des objectifs du Grenelle en termes de réduction de consommation énergétique. De tels contrats sont passés entre des opérateurs professionnels et des consommateurs finaux (référence : Article 73 du code des marchés publics).

La Directive 2012/27/UE du parlement européen et du conseil du 25 octobre 2012 relative à l'efficacité énergétique définit le CPE comme « un accord contractuel entre le bénéficiaire et le fournisseur d'une mesure visant à améliorer l'efficacité énergétique, vérifiée et surveillée pendant toute la durée du contrat, aux termes duquel les investissements (travaux, fournitures ou services) dans cette mesure sont rémunérés en fonction d'un niveau d'amélioration de l'efficacité énergétique qui est contractuellement défini ou d'un autre critère de performance énergétique convenu, tel que des économies financières. »

La loi « Grenelle I » identifie le CPE comme un outil pouvant utilement concourir à atteindre les objectifs de réduction des consommations énergétiques dont celles des bâtiments de l'État et de ses établissements publics d'ici 2020.

La taille du patrimoine des collectivités territoriales les désigne naturellement comme acteur essentiel du Grenelle en ce qui concerne le bâtiment ou leur parc d'éclairage urbain, et le CPE peut à cet effet constituer un outil privilégié pour la réalisation d'objectifs de performance énergétique. C'est ainsi que pour les collectivités territoriales, des clauses types ont été réalisées pour les différents types de CPE existants en marché public (marchés de service, marchés de travaux et services, marchés globaux associant conception réalisation et exploitation/maintenance et marchés de maîtrise d'œuvre préalables à la réalisation de tout CPE) ou en contrats de partenariat.

Actualité

Les Contrats de Performance Énergétique sont repris dans l'ordonnance de 2015-899 du 23 juillet 2015 relative aux marchés publics en tant que marchés globaux de performance : le dispositif n'est plus limité à la seule performance énergétique. Il peut être utilisé pour satisfaire tout objectif de performance mesurable. Il peut s'agir, par exemple, d'objectifs définis en termes de niveau d'activité, de qualité de service ou d'incidence écologique.

L'objectif du CPE

L'objet de tout CPE est l'amélioration de la performance énergétique entendue comme la diminution des consommations énergétiques et accessoirement l'amélioration du niveau de service, par rapport à une situation de référence contractualisée décrivant l'ensemble des caractéristiques du bâtiment au regard de sa performance énergétique au jour de l'entrée en vigueur du contrat. Ce qui constitue la cause impulsive et déterminante ayant conduit les deux parties à s'engager dans un contrat de performance énergétique est bien la réalisation d'économies d'énergie et non pas la réalisation de travaux, la fourniture de biens ou la prestation de services même dotés de performances énergétiques contractualisées.

L'investissement

Tout CPE se traduit par un investissement, matériel ou immatériel, dans des travaux, fournitures ou services. Ce sont les actions d'amélioration de la performance énergétique. Cet investissement vise à modifier les caractéristiques énergétiques du bâtiment/parc d'éclairage et à rendre possible une amélioration durable de la performance énergétique.

L'investissement peut être porté par l'acheteur ou par l'opérateur titulaire du CPE cependant les acheteurs publics soumis à l'interdiction du paiement différé (État, collectivités locales et leurs établissements publics notamment) ne peuvent faire préfinancer les investissements par l'opérateur que dans le cadre d'un marché de partenariat en application des dispositions de l'**ordonnance du 23 juillet 2015**.

La Garantie de Performance Énergétique (GPE)

L'obligation essentielle du titulaire est de « garantir », au moyen des investissements réalisés, l'objectif d'amélioration de la performance énergétique dans le respect du niveau de service contractuel pendant la durée du contrat.

La garantie de performance énergétique consiste pour le titulaire à indemniser le pouvoir adjudicateur pour l'entier préjudice résultant de la non atteinte de l'objectif d'amélioration de la performance énergétique. Le titulaire doit, en principe, payer une indemnité correspondant à l'équivalent économique de tout ou partie de l'écart entre la quantité d'énergie contractuellement garantie et la quantité d'énergie effectivement consommée et mesurée. Dans certains cas, cette réparation peut prendre la forme de travaux complémentaires visant à restaurer ou à améliorer l'efficacité énergétique. En cas d'amélioration de la performance énergétique au-delà de l'objectif contractuel, le titulaire reçoit un intéressement aux économies d'énergie supplémentaires réalisées.

La mesure des performances énergétiques

L'objectif d'amélioration de la performance énergétique garanti doit nécessairement faire l'objet de mesures et de vérifications pendant la durée du contrat. La garantie de performance énergétique doit ainsi porter sur des données mesurables, dans le cadre d'un protocole contractualisé, objectif et contradictoire entre les parties.

Ce protocole de mesures et de vérification prévoit les cas d'ajustement de l'objectif d'amélioration de la performance énergétique, destinés à tenir compte des modifications des conditions fixées dans la situation de référence (par exemple en cas de modification du périmètre du parc d'éclairage urbain de la collectivité).

Le CPE peut être le cadre de prescriptions fortes en termes d'atteinte de performances en priorité énergétiques mais également en termes de niveaux de service ou des limitations des nuisances qu'il s'agira de pouvoir évaluer tout au long du contrat.

6.1.15 Rappel : les responsabilités du maire vis-à-vis de l'éclairage public

L'Agence Locale de l'Energie et du Climat (ALE 08 - Ardennes) a produit une synthèse des responsabilités du maire vis-à-vis de l'éclairage public, sous forme de questions / réponses.

(<http://www.ale08.org/La-reglementation-autour-de-la,546.html>)

L'éclairage public est-il obligatoire ?

NON, il n'y a pas de définition légale de l'éclairage public.

La commune est-elle obligée d'éclairer ?

NON. La responsabilité du maire est définie dans le cadre du Code Général des Collectivités Territoriales (CGCT) (article L2212-2), où le maire applique son pouvoir de police. C'est lui qui prend les décisions en matière d'éclairage public.

Remarque : Il est cependant tenu d'assurer la sécurité de la population, l'éclairage public étant pour le Maire un levier d'action jugé en faveur du renforcement de cette sécurité.

Il existe encore quelques communes en France qui ne possèdent pas d'éclairage public.

La Norme EN 13201 est-elle obligatoire ?

NON. Cette norme est dite « d'application volontaire » que ce soit pour un éclairage public présent (rénovation) ou en cours de création. Cette norme donne des prescriptions d'éclairage, permet d'avoir une référence sur laquelle s'appuyer en terme d'éclairage, mais elle ne prend pas en compte l'engendrement de la pollution lumineuse. Les élus peuvent très bien se baser sur le cahier des recommandations de l'ANPCEN ou de Syndicats Départementaux d'Energie.

Y a-t-il des normes obligatoires ?

OUI. Les normes NF C17-200 et NF C15-100 relatives à la sécurité des installations électriques, ainsi que la norme EN 60-558, relative à la sécurité des luminaires

Y a-t-il des obligations de la commune vis à vis de l'éclairage public ?

OUI. Entretenir ses installations. En cas de sinistre constaté, mettant en cause l'éclairage public, la preuve du manque d'entretien, une panne non réparée dans les temps et prévue dans une plage horaire définie ou l'absence de signalisation d'obstacles sur la chaussée peuvent responsabiliser et mettre en faute le Maire.

Une coupure de l'éclairage en milieu de nuit est-elle autorisée ?

OUI. Plus de 4 000 communes en France pratiquent l'extinction. Il est important cependant que le Maire informe ses concitoyens et mette en place un arrêté municipal indiquant les lieux concernés et les plages horaires d'extinction.

6.2 DISPOSITIFS NON RÉGLEMENTAIRES

6.2.1 La Trame Verte et Bleue à La Réunion (TVB)



Le travail d'identification de la trame verte (pour les espaces terrestres) et bleue (pour les espaces aquatiques, sur terre et extrapolés en mer à La Réunion), espaces nécessaires au déplacement et à l'accomplissement du cycle de vie des espèces animales et végétales, a donné lieu à plusieurs études disponibles sur le site de la DEAL Réunion²⁴.

Ces travaux nous précisent notamment que la TVB est décomposée à La Réunion de la manière suivante :

- une trame terrestre « horizontale », qui relie entre eux les habitats d'un même étage altitudinal ;
- une trame terrestre des hauts vers les bas de l'île, qui connecte les étages entre eux ;
- une trame bleue, basée sur les zones humides, les rivières et ravines temporaires et permanentes ;
- une trame aérienne pour les oiseaux (essentiellement marins) ;
- une trame marine importante sur et autour de cette île, placée sur les voies de migrations ou constituant les sites de reproduction de nombreuses espèces (mammifères marins, tortues, oiseaux, etc.).

Chaque trame est constituée de « réservoirs de biodiversité », lieux de biodiversité importante, où les espèces peuvent réaliser tout ou partie de leur cycle de vie grâce notamment à des habitats fonctionnels et de surface importante ; et de « corridors écologiques » qui permettent aux espèces de réaliser des déplacements importants (migration/ alimentation/ etc.).

En réalisant un travail d'identification de ces réservoirs et corridors basé sur des espèces dites « de continuité écologique » (qui ont été considérées comme représentatives des besoins des espèces locales en termes de déplacement), les études produites ont permis de réaliser des cartes des différentes trames citées ci-avant, à l'échelle de l'île (à noter que cette échelle est donc peu précise à la commune et encore moins à la parcelle), et de faire ressortir les obstacles qui interrompent certaines continuités, par exemple des infrastructures linéaires, des zones imperméabilisées, etc.

Ce travail sur la TVB régionale est donc à décliner et à affiner à l'échelle des SCOT (Schéma de cohérence territoriale) et des PLU, notamment par l'acquisition de données naturalistes locales, qui permettront l'analyse plus précise :

- des corridors de déplacements et des réservoirs locaux ;
- et des obstacles existants ou à venir à ces continuités écologiques.

Dans cette étape de déclinaison locale de la TVB, on peut s'intéresser en particulier à la problématique de la pollution lumineuse et de ses effets sur la biodiversité, en y intégrant un focus sur les espèces sensibles à l'éclairage artificiel. La caractérisation de l'éclairage public et privé à l'échelle du territoire considéré pourra être menée pour croiser cette donnée avec la TVB locale, puis pour en tenir compte dans les documents de planification.

24. <http://www.reunion.developpement-durable.gouv.fr/les-continuites-ecologiques-a-la-reunion-a340.html>

En complément d'outils préexistants, il est en effet par exemple possible depuis la loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages de 2016, de prévoir des espaces de continuités écologiques dans les PLU identifiés par un zonage adapté²⁵.

Il est par ailleurs intéressant de noter que parmi les espèces retenues pour l'élaboration de cette TVB réunionnaise, figurent les Pétrels, Puffins et Tortues marines, espèces sur lesquelles l'incidence de l'éclairage est reconnue (cf. Chapitre 5 - page 93) et qui ont fait l'objet d'une attention particulière lors de la phase de terrain de la présente étude. L'éclairage a d'ailleurs été identifié clairement comme un obstacle aux déplacements pour les oiseaux marins.

Le croisement des cartes de trames liées à ces espèces, avec une cartographie des dispositifs d'éclairage peut permettre une première analyse globale des zones à traiter en priorité, qui pourrait être confrontée pour vérification à une cartographie des échouages d'oiseaux et/ou de pontes de tortues. Elle pourrait alimenter le schéma directeur d'éclairage évoqué précédemment à établir à l'échelle de l'île de La Réunion.

6.2.2 La charte du Parc National de La Réunion

Comme vu précédemment, le territoire du Parc National se répartit entre un cœur, régi par une réglementation spécifique, et une zone d'adhésion, où s'applique une charte d'adhésion signée par les communes volontaires. Cette charte comprend un certain nombre d'éléments relatifs à la pollution lumineuse.



Extrait de la charte du Parc National de La Réunion

Dispositions relatives à la protection de la nuit et la lutte contre les pollutions lumineuses figurant dans les chartes de parc national PN de La Réunion

Les nuisances lumineuses et sonores

La forte densité de population de l'île, et notamment du littoral, est source d'une importante pollution lumineuse. Même si celle-ci est essentiellement située hors du cœur du parc, elle a des impacts sur certaines espèces d'oiseaux qui nichent dans le cœur, particulièrement le Pétrel de Barau et le Pétrel noir : chaque année, plusieurs centaines de pétrels, perturbés par les lumières artificielles, s'échouent au moment de leur envol nocturne vers la mer.

Rôle des communes

- Participer activement à des manifestations du type jour / nuits sans lumière et engager une réflexion partenariale sur l'adaptation de l'éclairage urbain.
- Prendre en compte la problématique de la pollution lumineuse dans la définition des projets d'aménagement (routes, stades...).

Rôle de l'établissement public du parc national [...]

- Sensibiliser les élus, les acteurs et la population aux conséquences de la pollution lumineuse.
- Encourager, coordonner et accompagner les manifestations du type « nuit sans lumière » et accompagner les actions visant à adapter l'éclairage urbain (orientation, couleur, périodes, etc.), dont l'éclairage des stades.
- Encourager et participer aux actions visant à mieux connaître l'impact de la pollution lumineuse sur certaines espèces (chiroptères, insectes...) et à définir des mesures de protection.

25. « Article L. 113-29. Les plans locaux d'urbanisme peuvent classer en espaces de continuités écologiques des éléments de trames verte et bleue, définies aux II et III de l'article L. 371-1 du code de l'environnement, qui sont nécessaires à la préservation ou à la remise en bon état des continuités écologiques. »

Sont donc clairement identifiés ici un rôle des communes adhérentes à la charte, dans la prise en compte de la problématique de la pollution lumineuse, et de l'établissement Parc National, qui a un rôle d'accompagnement et de conseil sur ce sujet.

Politique des Parcs nationaux de France

Cette prise en compte n'est cependant pas spécifique au Parc National de La Réunion. On trouve en effet des éléments relatifs à cet enjeu dans des recommandations émises par Parcs Nationaux de France, en novembre 2012.

Synthèse du document « La protection de la nuit et la lutte contre les pollutions lumineuses dans les parcs nationaux : Les Parcs nationaux et les pollutions lumineuses » - Parcs nationaux de France - Novembre 2012

Les outils réglementaires nécessaires pour contrôler les éclairages nocturnes susceptibles de poser atteinte au patrimoine que constitue la nuit sont prévus dans les réglementations applicables dans les cœurs des parcs nationaux (sauf le parc amazonien de Guyane qui n'est pas concerné par cette problématique).

En aire d'adhésion, la lutte contre les pollutions lumineuses fait l'objet de démarches contractuelles qui sont explicitement inscrites dans certaines chartes. (L'absence de citation explicite n'interdit cependant pas à l'avenir un investissement local sur cette question).

Plusieurs Parcs nationaux (La Réunion et Les Pyrénées notamment) sont fortement impliqués dans des projets portés par des associations locales. D'autres ont engagé des actions de sensibilisation qui pourront s'intensifier dans les années à venir et sans doute déboucher sur des réalisations concrètes et significatives.

EXTRAIT DE LA CHARTE DU PARC NATIONAL DE LA RÉUNION EN CŒUR DE PARC

Ensemble des travaux, constructions et installations pouvant être autorisés par le directeur	Modalité 13 relative à l'ensemble des travaux, constructions et installations pouvant être autorisés par le directeur
<p>Peuvent être autorisés, en application et selon les modalités du 1° du I de l'article L. 331-4 du code de l'environnement, par le directeur de l'établissement public du parc les travaux, constructions et installations :</p> <p>1° Nécessaires à la réalisation par l'établissement public du parc de ses missions ;</p> <p>2° Nécessaires à la sécurité civile ;</p> <p>3° Nécessaires à la défense nationale, qui ne sont pas couverts par le secret de la défense nationale, sur les terrains relevant du ministère de la défense ;</p> <p>4° Relatifs aux captages destinés à l'alimentation en eau des constructions ou installations autorisées dans le cœur du parc national ;</p> <p>5° Nécessaires à l'exploitation agricole, pastorale ou forestière ou à une activité autorisée ;</p> <p>6° Nécessaires à la réalisation de missions scientifiques ;</p> <p>7° Nécessaires à l'accueil du public et aux actions pédagogiques ;</p> <p>8° Relatifs à l'aménagement et l'entretien des espaces, sites et itinéraires destinés à la pratique des sports de nature non motorisés. (II de l'article 9)</p>	<p>I. L'autorisation dérogatoire du directeur ou, le cas échéant, son avis conforme lorsque les travaux projetés sont soumis à une autorisation d'urbanisme, peut comprendre des prescriptions relatives :</p> <p>1° à l'intégration paysagère et architecturale, aux matériaux utilisés ;</p> <p>2° à la protection de la faune, de la flore et des écosystèmes (dont la prise en compte des particularités écologiques du site : période de nidification ou de floraison, etc.) ;</p> <p>3° à la lutte contre les espèces exotiques envahissantes (notamment par apport de matériaux extérieurs) et éventuellement à la plantation d'espèces indigènes caractéristiques de la zone concernée, avec respect des écotypes ;</p> <p>4° au maintien des écoulements d'eau ;</p> <p>5° à l'autonomie énergétique ;</p> <p>6° au balisage du chantier ;</p> <p>7° à la désignation des pistes et cheminement d'accès ainsi que des aires de circulation et de stationnement sur le lieu du chantier ;</p> <p>8° à la limitation des pollutions sonores et lumineuses ;</p> <p>9° à la maîtrise du stockage et des flux de substances polluantes (huiles, carburant, béton, lixiviats...) ;</p> <p>10° au confinement de la zone de fabrication de béton et de nettoyage des outils ;</p> <p>11° à la mise en place de containers pour les déchets de chantier avec, le cas échéant, l'organisation du tri sélectif ;</p> <p>12° à la remise en état des lieux, notamment de la couche superficielle, et au nettoyage de toutes les zones du chantier à la fin des travaux ;</p> <p>13° au caractère réversible des installations ainsi qu'à leur démontage et à la remise en état des lieux en fin de vie des installations ;</p> <p>14° à la réalisation d'une étude préalable sur la mise aux normes des assainissements, notamment pour les bâtiments accueillant du public ;</p> <p>15° à toute autre mesure destinée à suivre, éviter, réduire ou compenser les impacts sur l'environnement ;</p> <p>16° à l'information préalable de l'établissement public du parc national avant le démarrage des travaux et à sa participation lors des phases clés du chantier (notamment validation du balisage préalable et réception) ;</p> <p>17° à la fourniture d'un rapport d'exécution et de mesures de suivi après la fin des travaux ;</p> <p>18° à l'information du public sur les travaux réalisés.</p> <p>L'autorisation dérogatoire, ou l'avis conforme, précise notamment les modalités et le lieu de réalisation des travaux, constructions ou installations.</p> <p>II. Au sein des « espaces de naturalité préservée » et des « espaces à enjeu écologique spécifique » figurant sur la carte des vocations, et dont les limites peuvent être précisées par le conseil d'administration, ne peuvent être autorisés que :</p> <p>1° des travaux nécessaires à la préservation des espaces naturels ou à la sauvegarde des territoires, dont la lutte contre les prédateurs introduits et les espèces exotiques envahissantes ;</p> <p>2° des installations légères liées à des études scientifiques ou naturalistes ;</p> <p>3° des travaux liés à l'activité des services publics pour des motifs de sécurité publique ;</p> <p>4° des travaux nécessaires au gardiennage et à l'information du public ;</p> <p>5° des travaux et installations nécessaires aux études de l'évaluation des impacts du projet de captage de la source Edgar Avril et à celle de l'adduction de l'eau prélevée, ainsi que des travaux nécessaires à l'entretien des conduites d'eau et stations de pompage existantes situées dans les remparts inclus dans le périmètre de l'Arrêté Préfectoral de Protection de Biotopie (APPB) Pétril Noir.</p>

Dans plusieurs territoires la problématique des pollutions lumineuses n'a pas émergé notamment lors de l'élaboration des chartes ; on peut y rechercher une explication dans le peu d'acuité que le problème pose localement (Mercantour, Cévennes) ou au contraire l'ampleur des enjeux d'autres natures rencontrés (Vanoise).

En tout état de cause, la prise de conscience de l'existence et de l'intérêt du « Patrimoine Nuit » est général même si les actions engagées sont encore d'importance et de nature très diverses. Cette question prendra de toute évidence une place de plus en plus importante dans les activités à venir des parcs nationaux.

6.2.3 La Réserve Internationale du Ciel Etoilé (RICE)

Selon la définition qu'en donne l'International Dark-Sky Association (IDA), structure qui en délivre le label, une Réserve Internationale de Ciel Etoilé (RICE) est un espace public ou privé de grande étendue jouissant d'un ciel étoilé d'une qualité exceptionnelle et qui fait l'objet d'une protection à des fins scientifiques, éducatives, culturelles ou dans un but de préservation de la nature. La réserve doit comprendre une zone centrale où la noirceur naturelle est préservée au maximum et une région périphérique où les administrateurs publics, les individus et les entreprises reconnaissent l'importance du ciel étoilé et s'engagent à le protéger à long terme. L'IDA définit également les communautés et les parcs de ciel étoilé.

La RICE consiste en un partenariat établi entre les différents propriétaires et/ou administrateurs du territoire sur la base d'une reconnaissance de la valeur du ciel étoilé, laquelle se concrétise sous forme de réglementations, d'ententes formelles, ou encore d'une planification à long terme.

L'IDA travaille à définir et encadrer les « Réserves internationales de ciel étoilé », les « Parcs internationaux de ciel étoilé » ainsi que les « Communautés internationales de ciel étoilé ». La région du mont Mégalic a servi de modèle pour l'élaboration des critères à remplir pour l'obtention de ces dénominations

En France, une seule RICE est à ce jour labellisée par l'IDA, il s'agit du Pic du Midi.

Le Parc Naturel Régional des Préalpes d'Azur, dans les Alpes Maritimes, s'est lui aussi engagé en 2016 dans la démarche de labellisation RICE dans le cadre des Territoires à Énergie Positive pour la Croissance Verte, en portant à ce titre une ambitieuse politique de réduction de la pollution lumineuse.

Une démarche de ce type pourrait être engagée sur l'île de la Réunion compte-tenu des enjeux environnementaux et d'observation du ciel nocturne identifiés, de l'intérêt de hiérarchiser les espaces entre zones à préserver et zones urbaines éclairées, en respectant des prescriptions techniques sur la base d'un cahier des charges partagé.



Ciel vu du Piton du Maito - Commune de Saint-Paul - Source : réunion.fr

6.2.4 Les labels en lien avec la préservation du ciel nocturne et de la biodiversité

Label pétrels protégés



Ce label réunionnais créé en 2013 sous l'égide d'EDF, peut être obtenu par les collectivités comme les acteurs privés en respectant des préconisations précises sur les installations d'éclairage :

- ULOR = 0 ;
- degré de protection IP mini = 65 ;
- efficacité lumineuse minimale de 90 lumens par Watt ;
- commande de l'installation gérée par horloge astronomique et permettant leur extinction selon le cahier des charges de la SEOR. Ce cahier des charges comprend notamment un engagement sur des périodes d'extinction dont le calendrier est défini au préalable.

CALENDRIER PRÉVISIONNEL DE COUPURES D'ÉCLAIRAGE 2016
DANS LE CADRE DU LABEL PÉTRELS PROTÉGÉS

Janvier	Du 07 au 17 (11 jours)
Février	Du 08 au 18 (11 jours)
Mars	Du 06 au 11 (6 jours)
Avril	Du 11 au 21 (11 jours)
Décembre	Du 21 au 31 (11 jours)

Ce label concerne à ce jour 2 acteurs, dont une commune (Bras-Panon) et un établissement public (le Grand Port Maritime de La Réunion)

Label villes et villages étoilés



Ce Label s'appuie sur un concours national animé par l'Association Nationale pour la Protection du Ciel et de l'Environnement Nocturnes (ANPCEN).

(plus d'informations disponibles sur <https://www.anpcen.fr>).

Les critères de notation pour l'attribution du label sont les suivants :

- Points positifs :
 - durée ET proportion de l'extinction en milieu de nuit et/ou réduction de puissance ;
 - bons luminaires avec orientation de la lumière uniquement vers le bas ;
 - utilisation de lampes de puissance raisonnable ;
 - utilisation de lampes émettant une lumière jaune/orangée ou des LEDs ambrées (avec une température de couleur inférieure à 2400°K) ;
 - sensibilisation aux enjeux pluriels, participation des citoyens et des acteurs de la commune ;
 - réglementation des éclairages privés et coupure programmée des publicités et enseignes éclairées ;
 - charte d'engagement pour la protection de l'environnement nocturne ANPCEN ;
 - absence de mises en lumière du bâti et des éléments naturels ;
 - utilisation de la signalisation passive ;

- Points négatifs :
 - utilisation de lampes de forte puissance ;
 - utilisation de faisceaux lumineux publicitaires (laser/ DCA/ skytracer, ...)
 - utilisation de sources à lumière blanche en forte proportion (par exemple iodures métalliques et céramiques, LEDs blanches) ;
 - mise en lumière du bâti suivant durée et puissance utilisée ;
 - mise en lumière d'éléments naturels ;
 - utilisation de spots encastrés au sol ;
 - maintien du balisage blanc des éoliennes la nuit ;
 - durée excessive des illuminations de Noël et concours associés.

Liste des communes de La Réunion labellisées en 2015

La Possession pour les îlets de Mafate (La Nouvelle, Îlet à Malheur, Aurère, Îlet à Bourse, Grand Place) : 5 étoiles.

Saint-Louis/Les Makes (Site de l'observatoire astronomique des Makes) : 3 étoiles.

Saint-Joseph : 1 étoile.

En 2016, Parcs nationaux de France (PNF) et l'Association Nationale pour la Protection du Ciel et de l'Environnement Nocturnes (ANPCEN) ont renouvelé leur partenariat et renforcé leur coopération locale.

6.2.5 Démarche menée à La Réunion en faveur des Pétrels : les Nuits sans lumière

Coordonnées par le Parc National et la SEOR, et en partenariat avec les collectivités et EDF, les Nuits sans lumière (NSL) sont un évènement annuel qui vise à sensibiliser le public, les collectivités et les entreprises aux impacts de la pollution lumineuse sur la biodiversité et l'observation du ciel en général, et sur les Pétrels en particulier, afin de les mobiliser pour qu'ils réduisent leurs propres émissions lumineuses.

Organisées au moment du pic d'envol des jeunes Pétrels de Barau, elles ont notamment pour objectif de faire éteindre les éclairages publics (et si possible privés) pour réduire les risques d'échouages.



Extrait de « Les Parcs Nationaux et la Stratégie Nationale pour la Biodiversité, un engagement naturel » - Septembre 2013

Portant sur seulement quelques heures d'une seule nuit à ses débuts, l'évènement des nuits sans lumière durait 10 nuits en 2014 et 2015, et a duré 20 nuits en 2016. En 2017, pour sa 9^{ème} édition, l'évènement est programmé du 12 avril au 6 mai, soit 25 nuits pendant lesquelles un certain nombre d'acteurs vont s'engager pour réduire voire supprimer leurs émissions lumineuses nocturnes.



Plaquette d'information pour la 9^{ème} édition de « Nuit sans lumière » - Page 2

Les arguments en faveur des NSL, présentés dans les documents de communication, sont nombreux, et sont synthétisés ci-après :

- #1 - Améliorer la santé.
- #2 - Réduire sa facture.
- #3 - Diminuer le réchauffement climatique.
- #4 - Mieux observer les Etoiles.
- #5 - Pour protéger les pétrels.
- #6 - Pour préserver les écosystèmes nocturnes.
- #7 - Pour protéger les tortues marines.

En termes de bilan²⁶, l'édition 2016 a réuni une centaine d'acteurs, de toutes origines confondues : collectivités, associations, entreprises, soit 37 acteurs de plus qu'en 2015.

118 évènements ont été proposés aux quatre coins de l'île.

Certaines communes, à l'image de Cilaos (cf. Annexe 8.4 - page 147), ont pris des arrêtés municipaux pour encadrer les extinctions d'éclairage public sur le territoire communal pendant la durée des NSL.

Toujours en 2016 : 467 Pétrels de Barau ont été pris en charge sur la période d'envol (période qui s'étale en moyenne sur 45 jours) par le réseau de sauvetage du centre de soin de la SEOR, 379 oiseaux ont pu être relâchés. Parmi ces oiseaux, 327 oiseaux, soit 70 % du total, ont été récupérés pendant les NSL.

D'un point de vue énergétique, en 2015, l'évènement, qui avaient duré 10 nuits, avait permis de réaliser une économie de consommation de 313 MWh par rapport à une période « classique ». En 2016, sur les 20 nuits de l'opération, l'économie réalisée s'élève à 721 MWh, soit 408 MWh de plus que l'année précédente.

Ramenée sur une base comparable, l'économie se révèle plus importante qu'en 2015 et témoigne d'un effort supplémentaire :

- 60 MWh économisés en plus, sur un nombre de jours comparable à 2015 ;
- 91 MWh économisés en plus, par rapport aux mêmes dates que les Nuits sans Lumières 2015.

26. http://www.inforeunion.net/Les-Nuits-sans-Lumiere-Le-bilan-2016_a13311.html

Le week-end des 8, 9 et 10 avril a représenté à lui seul 35 % de la totalité de l'économie générée, soit 143 MWh.

Se sont impliqués dans les NSL 2016 : des bailleurs sociaux, par l'extinction de la lumière de résidences gérées et l'organisation d'animations à destination des résidents - la ligue réunionnaise de football qui a décalé des matchs en journée, et travaille avec les clubs pour faire terminer les entraînements avant le pic d'envol pendant la période la plus critique d'échouages - Kélonia qui a organisé des visites et animations sur la thématique de la pollution lumineuse en lien avec les tortues marines, etc.

Enfin, cet évènement est également l'occasion de passer des messages et des recommandations applicables toute l'année.

6.3 DISPOSITIFS TECHNIQUES OU FINANCIERS

6.3.1 Les normes en lien avec l'éclairage extérieur nocturne

(Terrains de foot, éclairage en ville...)

Les normes qui encadrent les usages nocturnes sont essentiellement d'application volontaire et ont vocation à servir de référentiels notamment dans les cahiers des charges des projets d'aménagement.

On cite ici les normes concernant les usages nocturnes extérieurs les plus courants :

- l'espace public, les rues, les boulevards urbains..., lieux de déplacements des usagers (modes actifs, motorisés) à norme EN 13 201 (2015) ;
- les installations sportives à norme NF EN 12193 (2008) ;
- cette norme concerne l'éclairage des manifestations sportives, à l'intérieur ou à l'extérieur, les plus pratiquées en Europe. Elle fournit des valeurs pour le projet et le contrôle de l'éclairage des installations sportives en termes d'éclairement, d'uniformité, de limitation de l'éblouissement et de propriétés de couleur des sources lumineuses ;
- les lieux de travail extérieur à norme EN 12 464/2 (2007) ;
- la présente Norme européenne fixe des exigences relatives à l'éclairage des postes de travail extérieurs, qui répondent aux besoins requis pour garantir confort et performances visuels des personnes dans l'exercice de leur activité.

EXEMPLES DE QUELQUES EXIGENCES PHOTOMÉTRIQUES ISSUES DE CES NORMES

Lieux	Norme concernée	Classification normative	E moyen	Uniformité générale U _o
Rue principale	EN 13 201	CE3	≥ 15 lux	≥ 0,40
Rue résidentielle	EN 13 201	CE5	≥ 7,5 lux	≥ 0,40
Stade de foot	EN 12 193	Classe II (match niveau régional)	≥ 200 lux	≥ 0,60
		Classe III (entraînement)	≥ 75 lux	≥ 0,50
Terrain de tennis	EN 12 193	Classe II (match niveau régional)	≥ 300 lux	≥ 0,70
		Classe III (entraînement)	≥ 200 lux	≥ 0,60
Zone de réception des passagers dans les gares maritimes	EN 12 464/2	Tableau 5.4 canaux, écluses et ports	≥ 50 lux	≥ 0,40
Circulation intense (parking des grands centres commerciaux ou complexes sportifs)	EN 12 464/2	Tableau 5.9 parcs de stationnement	≥ 20 lux	≥ 0,25
Boulodromes	EN 12 193	Niveau international/national	≥ 200 lux	≥ 0,70
		Niveau régional/départemental	≥ 100 lux	≥ 0,70
		Niveau local	≥ 50 lux	≥ 0,50

6.3.2 La gouvernance et les aides à l'éclairage public

Syndicats d'énergie : SIDELEC

Pas de compétence « éclairage public » actuellement. Cette compétence reste au sein des communes. La réflexion est menée pour une mutualisation à terme de cette compétence.

EDF

Depuis 2009, EDF Île de La Réunion aide techniquement et financièrement les communes à installer du matériel performant et économe, notamment en ce qui concerne l'éclairage public. En 2016, environ 15 communes sur 24 avaient bénéficié de ce dispositif pour principalement du renouvellement de milliers de luminaires obsolètes et énergivores.

Dans l'offre commerciale « Agir Plus » d'EDF, et notamment sa déclinaison à destination des collectivités « Offre éclairage public performant », sont pris en compte les critères suivant :

- un critère de qualité (Indice de protection) ;
- un critère de performance (efficacité lumineuse) ;
- un critère plutôt lié à la biodiversité (ULOR).

OFFRE « AGIR PLUS » À DESTINATION DES COLLECTIVITÉS PRÉSENTÉE SUR LE SITE D'EDF
AU 15 FÉVRIER 2017 ⁽²⁷⁾

AVEC UNE FACTURE D'ÉLECTRICITÉ RÉDUITE, ON Y VOIT DE SUITE PLUS CLAIR !

AGIR PLUS L'éclairage public est une source de dépenses importantes et un véritable enjeu environnemental pour les collectivités. EDF s'engage à vos côtés pour vous aider à réduire votre consommation d'énergie et vous propose par le réseau de ses partenaires une gamme de produits performants.

QUELLES SONT NOS SOLUTIONS D'ÉCLAIRAGE PUBLIC ?

EDF vous propose une gamme de solutions performantes et adaptées à vos besoins :

- La mise en place de variation, régulation et maîtrise de la puissance réactive (dans le cadre d'opération neuves ou de réhabilitation)
- L'installation d'horloges astronomiques pour l'éclairage extérieur
- Le remplacement des luminaires

QUEL EST LE MONTANT DE LA PRIME ?

Types d'éclairage	Modalités	Renouvellement (en €/luminaire)	Neuf (en €/luminaire)
Zone de circulation	Efficacité lumineuse ≥ 90 lumens par Watt et ULOR $\leq 1\%$ (ou pour les luminaires à LED, ULR $\leq 3\%$) Ensemble optique fermé d'un degré de protection (IP) de 65 minimum	300 €	150 €
Eclairage d'ambiance	Efficacité lumineuse ≥ 70 lumens par Watt et ULOR $\leq 10\%$ (ou, pour les luminaires LED, ULR $\leq 15\%$) Ensemble optique fermé d'un degré de protection (IP) de 65 minimum	150 €	150 €

27. <https://reunion.edf.fr/collectivite/j-economise-avec-agir-plus-d-edf/nos-offres-Eclairage/l-offre-Eclairage-public>

EDF intervient également sur la gestion de l'éclairage via :

- la mise en place de variation, régulation et maîtrise de la puissance réactive (dans le cadre d'opérations neuves ou de réhabilitation) ;
- l'installation d'horloges astronomiques pour l'éclairage extérieur.

Ces rénovations sont principalement réalisées par des collectivités, mais EDF a pu également financer des projets privés (supermarchés, lotissements, bailleurs sociaux...)

Ces critères sont repris (et complétés) dans le label Pétrels protégés, ce qui permet aux acteurs souhaitant aller vers ce label de bénéficier du soutien technique et financier d'EDF.

Ademe

L'Ademe finance la réalisation de diagnostics de patrimoine d'éclairage public et de schémas directeurs de l'éclairage, à condition qu'ils soient établis sur la base de son cahier des charges :

- à hauteur de 70 % dans la limite de 50 000 € dans le cas d'une étude seule ;
- à hauteur de 70 % dans la limite de 100 000 € dans le cas où l'étude est prolongée de travaux dont l'assistance à maîtrise d'ouvrage est assurée par l'Ademe.

Dans le cadre de ces études, l'Ademe demande que soient étudiées une proposition de travaux classiques, puis une proposition permettant d'atteindre un facteur 2 (division par 2 des consommations énergétiques suite aux travaux de rénovation) voire un facteur 4 (avec au moins de l'extinction nocturne et/ou de la modulation de l'éclairage.)

L'Ademe conditionne son financement à la réalisation de ces études, mais sans obligations de mise en œuvre par la suite de ces facteurs 2 ou 4 ; le maître d'ouvrage prend ainsi connaissance des marges d'économies potentielles et des investissements qu'elles nécessitent, et peut décider ensuite de ne pas investir.

L'Ademe peut également apporter un appui dans le cadre des Conseils en Energie Partagée (CEP). À La Réunion, un poste de CEP est ainsi financé au SIDELEC, dont une des missions portera sur l'accompagnement des communes adhérentes à une meilleure gestion de leur éclairage public.

De manière générale, l'Ademe ne finance pas d'opérations de rénovation de l'éclairage public. Pour autant, elle peut étudier la possibilité d'un financement dans le cas d'une opération exemplaire de rénovation, intégrant de fortes réductions des consommations d'énergie (facteur 3 ou 4), ainsi qu'une réduction de l'impact environnemental de l'éclairage public.

SPL Énergies Réunion

La société publique locale Énergies Réunion a pour rôle d'accompagner le développement de projets liés aux enjeux énergétiques. Ses domaines d'action sont la maîtrise de la demande en énergie, l'observation, la gouvernance, l'information et la sensibilisation.

La SPL édite notamment depuis 2013 le bilan énergétique de La Réunion, et a produit en 2012 et 2013 des travaux d'état des lieux de l'éclairage public à La Réunion. Elle anime l'observatoire Énergie Réunion qui a produit les données reprises dans la présentation du contexte énergétique réunionnais. (sous-chapitre 3.1 - page 53). Elle a participé également aux travaux d'élaboration de la Programmation Pluriannuelle Énergétique de La Réunion.

7. CONCLUSION

Une analyse de la littérature scientifique et technique a été menée sur les effets de l'éclairage artificiel sur la biodiversité. Basée sur des articles scientifiques, des synthèses bibliographiques, des guides techniques et des plans d'actions spécifiques à certaines espèces ou groupes d'espèces, cette analyse permet de conclure que l'éclairage artificiel génère des effets sur de très nombreuses espèces de faune et de flore, effets qui peuvent être favorables sur certaines fonctions biologiques ou écologiques (croissance des plantes, alimentation de certaines chauve-souris, etc.), et défavorables sur d'autres (désorientation/ piégeage de certaines espèces, effet barrière, perturbation des fonctions hormonales, surprédation, etc.).

Dans tous les cas, l'éclairage artificiel induit des désordres dans les écosystèmes (modification des rapports proies/ prédateurs, des corridors de déplacements des espèces mobiles, concentration d'espèces, etc.) et doit à ce titre être considéré comme un facteur altérant la naturalité d'un site ou d'un écosystème.

On constate également que l'effet de l'éclairage artificiel sur les organismes vivants dépend d'un nombre très important de facteurs :

- facteurs spécifiques à l'espèce considérée : âge/ stade de développement ou étape du cycle de vie, sexe ;
- facteurs météorologiques : nébulosité, pluie, température, présence de particules dans l'atmosphère, etc.
- facteurs techniques : type de lampe, longueurs d'onde (spectre d'émission), puissance, direction et répartition du flux lumineux, forme du support de lampe, hauteur du mât, etc.
- facteur temporel : heure de la nuit, période de l'année, cycle de la lune ;
- facteur « environnemental » : environnement du point lumineux (isolé ou concentré dans un réseau, un alignement/ visible ou masqué par un obstacle végétal, minéral ou autre, en ville ou en zone agricole/naturelle, situé sur un corridor de déplacement ou proche d'un site à enjeux type gîte de reproduction, etc.).

Cependant, même si la bibliographie est de plus en plus riche sur cette thématique, un déficit de connaissances est constaté sur de très nombreux sujets : manque d'études de longue durée, manque de connaissances sur certaines zones géographiques et notamment les zones tropicales, manque de connaissances physiologiques et comportementales spécifiques à l'immense majorité des espèces vis-à-vis de la thématique de l'éclairage, manque de connaissance de l'effet des différentes technologies d'éclairage...

Dans la plupart des cas, les effets de l'éclairage artificiel sont constatés par observation mais rarement compris en ce qui concerne les mécanismes de ces effets. Les études se sont par ailleurs jusqu'à ce jour concentrées sur un petit nombre d'espèces, et il est probable que ces effets s'appliquent sur de très nombreuses autres, moins étudiées mais dont la production d'hormone, l'alimentation ou la reproduction sont tout aussi perturbées par la pollution lumineuse. La réduction de la pollution lumineuse apparaît donc comme une forte nécessité pour la préservation de la biodiversité, et pas uniquement pour des considérations énergétiques.

Pour rappel, les tableaux présentés aux paragraphes 2.3.7 et 2.4.3 (pages 34 et 43) synthétisent les effets connus des différentes longueurs d'onde et technologies d'éclairage sur différents taxa.

Une autre partie de ce rapport s'est concentrée sur l'existant en termes de corpus réglementaire et normatif sur ce sujet de l'éclairage. Celui-ci existe, mais prend encore trop peu en considération les questions liées à la biodiversité. Des dispositifs d'aides techniques et financières plus ou moins spécifiques et certains acteurs sont cependant déjà mobilisables pour qui souhaiterait intervenir sur le sujet.

Sur l'île de La Réunion, où la connaissance de la biodiversité est encore incomplète mais qui se caractérise par une richesse et une originalité exceptionnelles en espèces animales et végétales, ces effets sont constatés de longues dates sur des espèces emblématiques comme les tortues marines et les oiseaux marins. Les acteurs locaux de protection de l'environnement se mobilisent régulièrement pour sensibiliser le public, les collectivités et les entreprises sur les enjeux de la pollution lumineuse.

Cet enjeu est également porté par des acteurs de l'énergie, car la pollution lumineuse correspond à une énergie perdue, sur une île fortement dépendante énergétiquement (qualifiée de ZNI – Zone Non Interconnectée) dans un secteur impactant fortement la facture énergétique électrique des communes (près de 42 %). Cette convergence d'intérêt peut faire espérer une amélioration de la situation.

La marge de progrès est importante. En effet, au cours de la mission de terrain qui a eu lieu en septembre 2016, il a pu être constaté de nombreux éclairages inutiles, surpuissants ou mal conçus par rapport à l'usage prévu : éclairage continu toute la nuit d'un parking fermé, d'un boulodrome, éclairage orienté largement vers le ciel, quartier rénové avec des niveaux d'éclairage deux fois supérieurs à la norme, etc.

Au-delà de l'amélioration de l'existant, la situation à venir est également à anticiper : la démographie de l'île étant particulièrement dynamique, le développement de réseaux routiers, d'infrastructures de loisirs, de bâtiments d'habitations, de zones d'activités, etc. va se poursuivre à un rythme soutenu.

Dans le même temps, la technologie LED, dont on a vu qu'elle n'était pas neutre vis-à-vis de la biodiversité, est appelée à se développer rapidement en remplacement d'une partie importante des technologies en place. Il est donc important de pouvoir apporter des éléments méthodologiques aux aménageurs et décideurs locaux, afin que cet enjeu de prise en compte de la biodiversité dans la planification et la maintenance de l'éclairage soit intégré dans les programmes à venir.

Il est prévu que le Cerema produise, en complément de ce rapport d'étude, un guide méthodologique qui apportera des méthodes et solutions techniques permettant de mieux concilier besoins d'éclairage et préservation de la faune et de la flore.

8. ANNEXES

8.1 Annexe 1 : Bibliographie

8.1.1 Les stages réalisés dans les structures locales de protection des espèces sauvages et des espaces naturels

Yamin Ridoux (2010). Rôle du Parc national de La Réunion dans la conservation d'une espèce endémique menacée : le Pétrel de Barau (*Pterodroma barau*). Université de la Réunion/ Parc National/ IFORE/ ATEN.

N. Minatchy (2004) : Mortalité des Pétrels induite par les éclairages publics, document à l'usage des aménageurs et des décideurs, diagnostic réalisé dans le cadre d'un stage DESS encadré par la SEOR et l'Université de La Réunion.

Erwan Broussy, Léona Guilletat (2011). Cartographie et impact de la pollution lumineuse sur la ponte des tortues marines de l'île de la Réunion. Kélonia/ Université Paul Sabatier, Toulouse

8.1.2 Guides techniques et documents de sensibilisation

ANPCN. (2007). Dossier « La pollution Lumineuse – Origines – Causes – Conséquences – Comment Lutter ». 14 pages.

Association Veracruz – DVE. (2011). La pollution lumineuse et son impact sur la faune et la flore. 4 pages.

Cerema, 2016 : Guide Méthodologique « Chiroptères et infrastructures de transport », 167 pages.

FRAPNA, 2013 : Guide « Trop d'éclairage nuit ».

Mission Economie de la Biodiversité – ANPCEN. (2015). Éclairage du 21^{ème} siècle et biodiversité – pour une meilleure prise en compte des externalités de l'éclairage extérieur sur notre environnement. Les cahiers de Biodiv'2050 : Comprendre. 71 pages.

Mortalité des Pétrels induite par les éclairage publics – document à l'usage des aménageurs, des éclairagistes et des décideurs – ECOMAR/SEOR – 2004.

Sordello R. (2011). Six propositions pour réduire les nuisances lumineuses sur la biodiversité dans les espaces naturels. Rapport MNHN-SPN n° 22. Paris, France. 9 pages.

Patric Pinet (2014) : Etude descriptive de l'évolution de la pollution lumineuse visible par imagerie satellitaire, de 1995 à 2012. ECOMAR/ Parc National de la Réunion/ SEOR.

Z'infos Marines n°3, 2012.

8.1.3 Les thèses d'universitaires abordant les questions d'éclairages

Patrick Pinet (2012), mémoire de thèse « Biologie, écologie et conservation d'un oiseau marin endémique de La Réunion : Le Pétrel de Barau. »

8.1.4 Les Plans d'Actions

Salamolard M., SEOR - ECOMAR (2008). Plan de conservation du Pétrel de Barau *Pterodroma baraui*. 59 pages.

Riethmuller M., Jan F. & Giloux Y. 2012. Plan national d'actions en faveur du Pétrel noir de Bourbon *Pseudobulweria aterrima* (2012-2016). Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de La Réunion. SEOR, 92 p.

8.1.5 Les articles scientifiques et synthèses bibliographiques

Azam C, Kerbirou C, Vernet A, Julien J-F, Bas Y., Maratrat J., Le Viol I. (2015). Is part-night lighting an effective measure to limit the impacts of artificial lighting on bats? *Global Change Biology*, 21, 4333-434.

Azam C., Le Viol I., Julien J.F., Bas Y., Kerbirou C. ; (2016) : Disentangling the relative effect of light pollution, impervious surfaces and intensive agriculture on bat activity with a national-scale monitoring program.

Barghini A, Souza de Medeiros BA. (2012) - UV radiation as an attractor for insects - Article paru dans la revue *Leukos* vol 9.

Bourgeois S. et al. 2009 : Influence of artificial lights, logs and erosion on leatherback sea turtle hatchling orientation at Pongara National Park, Gabon. *Biological Conservation* 142 (2009) 85-93.

Ciccione S, Bourjea J., 2006 : Nesting of Green Turtles in St Leu, Reunion Island, *Marine Turtle Newsletter* No. 112.

Davies T.W, Coleman M., Griffith K.M, Jenkins S.R (2015) - Night-time lighting alters the composition of marine epifaunal communities - Article paru dans la revue *Biology Letters*.

Falchi et al. 2016; The new world atlas of artificial night sky brightness. article paru dans *Science Advances*, 26 pages.

French-Constant R., Somers-Yeates Robin, Bennie Jonathan, Economou Theodoros, Hodgson David, Spalding Adrian, McGregor Peter K. (2016), Light pollution is associated with earlier tree budburst across the United Kingdom ; article paru dans le journal de la Royal Society B : 9 pages.

Kaniewska P., Alon S., Karako-Lampert S., Hoegh-Guldberg O., Levy O. (2015) - Signaling cascades and the importance of moonlight in coral broadcast mass spawning - Article paru dans la revue *eLife*.

Lewanzik, Voigt - (2014) - Artificial light puts ecosystem services of frugivorous bats at risk(2) - annotated.

Musters C.J.M., Snelder D.J. & Vos P. (February 2009) - The effects of coloured light on nature -A literature study of the effects of part of the spectrum of artificial light on species and communities.

Schlacher T.A, Stark J., Fischer A.B.P (April 2007) - Evaluation of artificial light regimes and substrate types for aquaria propagation of the staghorn coral *Acropora solitaria* - Article paru dans la revue Elsevier.

Siblet (2008). Impact de la pollution lumineuse sur la biodiversité. Synthèse bibliographique. Rapport MNHN-SPN / MEEDAT n°8 : 8 pages.

Sordello R., Vanpeene S., Azam C., Kerbirou C., Le Viol I. & Le Tallec T. (2014). Effet fragmentant de la lumière artificielle. Quels impacts sur la mobilité des espèces et comment peuvent-ils être pris en compte dans les réseaux écologiques ? Muséum national d'Histoire naturelle, Centre de ressources Trame verte et bleue. 31 pages.

Sordello R. (2015). Première capitalisation méthodologique sur les Schémas régionaux de cohérence écologique adoptés ou en projet. Pollution lumineuse. Rapport MNHN-SPN. 15 pages.

Stone et al., 2009 : Street Lighting Disturbs Commuting Bats, Current Biology, doi:10.1016/j.cub.2009.05.058.

Stone EL, Wakefield A., Harris S, Jones G. (2015) The impacts of new street light technologies: experimentally testing the effects on bats of changing from low-pressure sodium to white metal halide - article paru dans la revue Philosophical transactions B de la Royal Society.

Thums M. et al. (2016) : Artificial light on water attracts turtle hatchlings during their near shore transit. R.Soc.opensci.3 :160142 (<http://dx.doi.org/10.1098/rsos.160142>).

Van Grunsven R., Creemers R., Joosten K., Donners M., Veenendaal E., 2017 - Behaviour of migrating toads under artificial lights differs from other phases of their life cycle, article paru dans la revue Amphibia- Reptilia.

Witherington, B. E., and R. E. Martin. 1996. Understanding, assessing, and resolving light-pollution problems on sea turtle nesting beaches. Florida Marine Research Institute Technical Report TR-2. 73 p

8.1.6 Partie énergie/éclairage

Impact de la pollution lumineuse sur la faune et la flore - Nathalie Fauquembergue - Brice Deslandres - Association Licorncss - 2013.

Evolution de la pollution lumineuse sur l'Île de La Réunion (1995 -2012) - Rapport d'étude - 2014 - Patrick Pinet (ECOMAR, PNRR, SEOR).

SRCAE de l'Île de La Réunion – 2013.

Bilan énergétique - Ile de La Réunion 2015 - SPL Energies Réunion - Edition 2016.

Programmation Pluriannuelle de l'Energie (PPE) de La Réunion - 2017.

Effets sanitaires des systèmes d'éclairage utilisant des diodes électroluminescentes (LED) - Rapport d'expertise collective - ANSES - octobre 2010.

16 fiches pour répondre aux questions qui se posent en éclairage public - Association Française de l'Eclairage (AFE) - 2015.



8.2 Annexe 2 : Glossaire

PHOTOTAXIE (NEGATIVE/ POSITIVE) : Réaction d'attraction (positive) ou de répulsion (négative) vis-à-vis de la lumière.

SBP : Lampe au sodium basse pression (famille des lampes à décharge).

SHP : Lampe au sodium haute pression (famille des lampes à décharge).

LED : Source lumineuse Light Emitting Diode (Diode electro-luminescente).

IM : Lampe aux iodures (ou halogénures) métalliques (famille des lampes à décharge).

SAR : Schéma d'aménagement régional.

TVB : Trame verte et bleue.

CYCLE CIRCADIEN : Cycle journalier régié par l'horloge interne des mammifères et calé sur l'alternance jour/nuit.

8.3 Annexe 3 : Décret n° 2011-831 du 12 juillet 2011 relatif à la prévention et à la limitation des nuisances lumineuses

Publics concernés : collectivités territoriales, Etat, entreprises, professionnels de la filière de l'éclairage.

Objet : prévention, réduction et limitation des nuisances lumineuses et des consommations d'énergie.

Entrée en vigueur : le lendemain de la publication.

Notice : le décret définit les installations lumineuses et les équipements dont elles peuvent être constituées concernés par la réglementation.

Il précise les conditions dans lesquelles ses prescriptions peuvent être adaptées aux caractéristiques des zones d'implantation de ces installations.

Il donne compétence au ministre chargé de l'environnement et au préfet pour interdire ou limiter le fonctionnement dans le temps de certaines installations lumineuses.

Enfin, il donne la possibilité à l'autorité compétente de sanctionner les infractions à la réglementation d'une amende administrative.

Références : le code de l'environnement, modifié par le présent décret, peut être consulté, dans sa rédaction issue de cette modification, sur le site Légifrance (<http://www.legifrance.gouv.fr>).

Le Premier ministre,

Sur le rapport de la ministre de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement,

Vu le règlement 245/2009/CE du 18 mars 2009 mettant en œuvre la directive 2005/32/CE du Parlement européen et du Conseil en ce qui concerne les exigences en matière d'éco-conception applicables aux lampes fluorescentes sans ballast intégré, aux lampes à décharge à haute intensité, ainsi qu'aux ballasts et aux luminaires qui peuvent faire fonctionner ces lampes, et abrogeant la directive 2000/55/CE du Parlement européen et du Conseil ;

Vu le code du patrimoine, notamment son article L. 1 ;

Vu le code de l'environnement, notamment ses articles L. 120-1, L. 583-1 à L. 583-5, L. 581-9 et L. 581-18 ;

Vu le code de la route, notamment son article R. 110-2 ;

Vu l'avis du comité des finances locales (commission consultative d'évaluation des normes) du 6 janvier 2011 ;

Le Conseil d'Etat (section des travaux publics) entendu,

Décète :

Article 1

Il est créé un chapitre III au titre VIII du livre V du code de l'environnement (partie réglementaire) ainsi rédigé :

« Chapitre III

« Prévention des nuisances lumineuses

« Art. R. 583-1.-Au sens du présent chapitre, constitue une installation lumineuse tout dispositif destiné à produire de la lumière artificielle et comportant notamment tout ou partie des équipements suivants :

« - des lampes ou sources lumineuses telles que définies dans la norme NF EN 12 665 ;

« - des appareillages des lampes tels que définis au 5 de l'article 2 du règlement 245/2009/ CE ;

« - des luminaires tels que définis au 6 de l'article 2 du règlement 245/2009/ CE ;

« - des systèmes de gestion individuels ou collectifs de l'installation lumineuse permettant de moduler son fonctionnement, de le programmer ou de le surveiller.

« Art. R. 583-2.-Afin de prévenir, réduire et limiter les nuisances lumineuses et les consommations d'énergie, les dispositions, prévues aux articles L. 583-2 et L. 583-3, s'appliquent aux installations lumineuses destinées aux usages suivants :

« - éclairage extérieur destiné à favoriser la sécurité des déplacements, des personnes et des biens et le confort des usagers sur l'espace public ou privé, en particulier la voirie, à l'exclusion des dispositifs d'éclairage et de signalisation des véhicules ;

« - éclairage de mise en valeur du patrimoine, tel que défini à l'article L. 1 du code du patrimoine, du cadre bâti, ainsi que des parcs et jardins ;

« - éclairage des équipements sportifs de plein air ou découvrables ;

« - éclairage des bâtiments, recouvrant à la fois l'illumination des façades des bâtiments et l'éclairage intérieur émis vers l'extérieur de ces mêmes bâtiments ;

« - éclairage des parcs de stationnements non couverts ou semi-couverts ;

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

« - éclairage de chantiers en extérieur.

« Art. R. 583-3.-Les prescriptions techniques prévues au présent chapitre ne s'appliquent pas à la publicité lumineuse et aux enseignes lumineuses, régies respectivement par les articles L. 581-9 et L. 581-18.

« Art. R. 583-4.-Les prescriptions techniques, arrêtées par le ministre chargé de l'environnement en application du I de l'article L. 583-2, sont définies en fonction de l'implantation des installations lumineuses selon qu'elles se situent dans les zones qualifiées d'agglomération par les règlements relatifs à la circulation routière ou les zones en dehors de ces agglomérations.

« Dans les espaces naturels mentionnés dans le tableau annexé au présent article ainsi que dans les sites d'observation astronomique, dont la liste et le périmètre sont fixés par un arrêté du ministre chargé de l'environnement pris après avis du ministre chargé de la recherche quand sont en cause des sites d'observation placés sous son autorité, les installations lumineuses font l'objet de mesures plus restrictives que celles appliquées aux dispositifs implantés en agglomération et en dehors des agglomérations.

« Ces prescriptions peuvent notamment porter sur les niveaux d'éclairage (en lux), l'efficacité lumineuse et énergétique des installations (en watts par lux et par mètre carré) et l'efficacité lumineuse des lampes (en lumens par watt), la puissance lumineuse moyenne des installations (flux lumineux total des sources rapporté à la surface destinée à être éclairée, en lumens par mètre carré), les luminances (en candélas par mètre carré), la limitation des éblouissements, la distribution spectrale des émissions lumineuses ainsi que sur les grandeurs caractérisant la distribution spatiale de la lumière ; elles peuvent fixer les modalités de fonctionnement de certaines installations lumineuses en fonction de leur usage et de la zone concernée.

« Art. R. 583-5.-Le ministre chargé de l'environnement peut, par arrêté pris après avis du Conseil national de protection de la nature, en application du II de l'article L. 583-2, interdire ou limiter, à titre temporaire ou permanent, les installations lumineuses de type canon à lumière dont le flux lumineux est supérieur à 100 000 lumens, les installations à faisceaux de rayonnement laser ainsi que les installations lumineuses situées dans les espaces naturels et les sites d'observation astronomique mentionnés à l'article R. 583-4.

« Lorsque des terrains relevant du ministère de la défense sont concernés, le ministre chargé de l'environnement recueille l'avis du ministre de la défense.

« Art. R. 583-6.-Les prescriptions techniques fixées par le ministre chargé de l'environnement et applicables aux installations lumineuses, prévues aux I et II de l'article L. 583-2, peuvent faire l'objet d'arrêtés préfectoraux d'adaptation pris en application du III de l'article L. 583-2 après avis du conseil départemental de l'environnement, des risques sanitaires et technologiques.

« Une copie des arrêtés prévus à l'alinéa précédent est adressée à chacun des maires du département et un extrait en est publié dans deux journaux locaux ou régionaux diffusés dans tout le département. » Art. R. 583-7.-En cas de constatation d'une installation lumineuse irrégulière au regard des prescriptions techniques fixées par le ministre en charge de l'environnement ou du maintien de l'exploitation d'une installation lumineuse en violation d'un arrêté pris en application de l'article L. 583-5, l'autorité administrative compétente définie à l'article L. 583-3 peut prononcer une amende au plus égale à 750 euros, après avoir invité l'intéressé à présenter ses observations. »

Article 2

La ministre de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement est chargée de l'exécution du présent décret, qui sera publié au Journal officiel de la République française.

A N N E X E

LISTE DES ESPACES NATURELS PROTÉGÉS MENTIONNÉS AUX LIVRES III ET IV DU CODE DE L'ENVIRONNEMENT ET VISÉS PAR LE PRÉSENT DÉCRET

Espaces classés par les décrets de création des parcs nationaux mentionnés aux articles L. 331-2 et R. 331-46.

Réserves naturelles et périmètres de protection mentionnés aux articles L. 332-2 et L. 331-16.

Parcs naturels régionaux mentionnés à l'article L. 333-1.

Parcs naturels marins mentionnés à l'article L. 334-3.

Sites classés et sites inscrits mentionnés aux articles L. 341-1 et L. 341-2.

Sites Natura 2000 mentionnés à l'article L. 414-1.

Fait le 12 juillet 2011.

Par le Premier ministre :

François Fillon

La ministre de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement,

Nathalie Kosciusko-Morizet

8.4 Annexe 4 : Arrêté municipal pris par la commune Cilaos et encadrant les extinctions lumineuses pendant les NSL 2016

REPUBLIQUE FRANCAISE

DEPARTEMENT DE LA REUNION



VILLE DE CILAO

ARRETE N° 27 - 2016

PORTANT EXTINCTION DES ECLAIRAGES PUBLICS SUR LE TERRITOIRE DE LA COMMUNE A L'OCCASION DES « NUITS SANS LUMIERE »

Le maire,

- Vu** La loi 82-293 du 02 mars 1982 relative aux droits et libertés des communes, des départements et régions modifiées,
- Vu** Le Code général des collectivités territoriales, notamment ses articles L 2211-1 à L 2213-3,
- Vu** Le Livre IV du Code Pénal qui détermine les peines et contraventions de Police, spécialement l'article R.25 qui soumet à l'amende de Police tous ceux qui contreviennent aux règlements légalement pris par l'autorité municipale,
- Vu** Le Code de l'environnement, article L. 411-1 du code de l'environnement relatif aux espèces protégées,
- Vu** Le Code de l'environnement, articles L.331-2 et R.331-46 précisant les espaces naturels protégés et en particuliers les parcs nationaux et leur aire d'adhésion,
- Vu** Loi Grenelle 1, article 41 relative aux pollutions lumineuses,
- Vu** L'arrêté ministériel du 12 février 1989 espèces animales vertébrées relatif en particulier les espèces protégées de la Réunion (dont les pétrels, attirés par les lumières),
- Vu** Décret N°2011-831 du 12 juillet 2011 relatif à la prévention et à la limitation des nuisances lumineuses,

Considérant qu'il appartient à l'autorité municipale de rappeler et de prescrire toutes les mesures propres à assurer l'ordre, la sûreté et la sécurité sur les places et voies publiques ;

Considérant l'évènement nuits sans lumière 8^{ème} édition du 5 au 24 avril 2016 ;

Considérant les préconisations de la Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de la Réunion, en date du 3 février 2016, relatives à la période de risque d'échouage des pétrels qui se situe entre le 1^{er} avril et le 15 mai chaque année ;

Considérant qu'il convient de permettre aux jeunes pétrels de prendre leur envol en toute sécurité, d'éviter les échouages, de sensibiliser la population contre la pollution et ses méfaits pour la nature et la santé humaine ;

Considérant la volonté de la commune de participer à l'évènement afin de contribuer à la perpétuation de l'espèce ;

ARRÊTE

Article 1 Une extinction de l'éclairage public sera effective, toutes les nuits, du 5 au 14 avril 2016, sur le territoire de la commune de Cilaos, sauf les sites où l'éclairage sera maintenu aux dates et horaires suivants :

- Place de l'église : les samedi 9 - 16 - 23 avril 2016 jusqu'à 19h30, pour permettre la circulation des personnes en toute sécurité à la sortie des cérémonies religieuses.
- Boulodrome et plateau sportif centre : tous les soirs jusqu'à 19h30.
- Stade de football de Cilaos : les soirs lors des entraînements jusqu'à 20h et matchs officiels jusqu'à 18h30 jusqu'au 15 mai 2016.

Article 2 Madame La Directrice Générale des Services, le Commandant de brigade de gendarmerie, le Chef de Service de Police municipale et le Chef des Services techniques sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent arrêté qui sera transcrit sur le registre de la mairie.

Fait à Cilaos,
Le 8 avril 2016

Le maire

