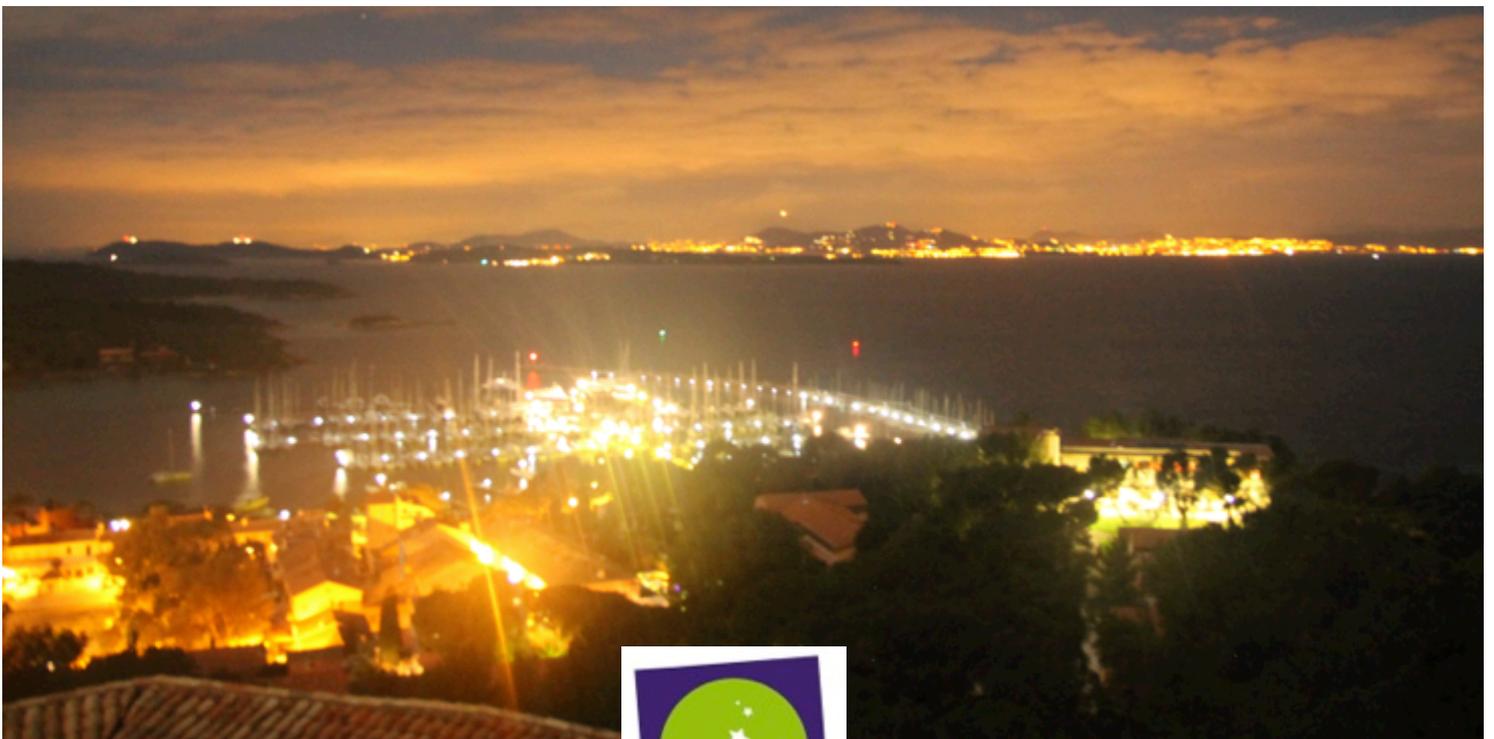


**« Qualité de la nuit sur l'île de Porquerolles :
expérimentation sur un site pilote insulaire protégé,
en Méditerranée française »**

**Rapport du partenariat scientifique
ANPCEN-Parc national de Port Cros**

Nicolas Bessolaz, Anne-Marie Ducroux, Jean-Michel Lazou

Association Nationale
pour la Protection du Ciel et de l'Environnement Nocturnes



ANPCEN c/o SAF 3 rue Beethoven 75016 Paris
Site : www.anpcen.fr - Courriel : info@anpcen.fr - Compte Twitter : @anpcen

Sommaire

1	LES ACTEURS	3
2	CONTEXTE DE L'ETUDE	5
3	OBJECTIFS DE LA MISSION	7
4	PROCESSUS	8
5	ETAT DES LIEUX CONSTATE DE L'ECLAIRAGE EXTERIEUR A PORQUEROLLES	11
5.1	L'ECLAIRAGE PUBLIC SUR L'ILE	12
5.1.1	<i>Rappel des principales fonctions de l'éclairage public et de ses éventuelles externalités négatives</i>	12
5.1.2	<i>Relevés de situation ANPCEN des principaux luminaires rencontrés, caractéristiques et éventuels défauts</i>	13
5.1.3	<i>Synthèse des émissions lumineuses de l'éclairage public pour l'ensemble du village et pour deux rues spécifiques</i>	17
5.2	LES MISES EN LUMIERE	21
5.2.1	<i>L'église Sainte Anne</i>	21
5.2.2	<i>La terrasse supérieure du Fort Ste Agathe</i>	22
5.3	LE PORT	22
5.3.1	<i>Les luminaires et bornes de cheminements sur les pontons</i>	22
5.3.2	<i>La mise en lumière des palmiers à proximité de la capitainerie</i>	24
5.3.3	<i>Le port vu à distance</i>	25
5.3.4	<i>Synthèse des émissions lumineuses pour le port</i>	26
5.4	LES AUTRES ECLAIRAGES EXTERIEURS PRIVES	28
5.4.1	<i>Les commerces et restaurants autour de la Place d'Armes</i>	28
5.4.2	<i>Les autres acteurs de l'île</i>	30
5.4.3	<i>L'éclairage des bateaux de plaisance</i>	31
5.4.4	<i>Les sources non prises en compte dans l'étude</i>	32
6	ANALYSES EFFECTUEES DES MESURES DE QUALITE DE LA NUIT	33
6.1	CHOIX DES GRANDEURS PHYSIQUES ET UNITES DE MESURE UTILISEES	33
6.2	CALENDRIER DES CAMPAGNES DE MESURES DE LA QUALITE DE LA NUIT	36
6.3	ANALYSE DES MESURES AUTOMATIQUES	36
6.3.1	<i>Principes</i>	36
6.3.2	<i>Basse-saison : Présentation des statistiques générales pour tous les sites (mars-avril) en période de nuit noire (sans lune)</i>	37
6.3.3	<i>Basse-saison : Evolution de la pollution lumineuse au cours de la nuit pour tous les sites, par ciel clair, en période de nuit noire</i>	39
6.3.4	<i>Basse-saison : Effet de la couverture nuageuse sur la pollution lumineuse</i>	42
6.3.5	<i>Haute-saison : Evolution de la pollution lumineuse</i>	46
6.3.6	<i>Visibilité du cycle lunaire et perturbations de l'évolution naturelle de la luminosité ambiante lors des phases de crépuscule</i>	49
6.4	ANALYSE EFFECTUEE DES MESURES MANUELLES ET DES PHOTOS NOCTURNES	50
6.4.1	<i>Basse-saison : Analyse des photos nocturnes</i>	50
6.4.2	<i>Haute-saison : Analyse des photos nocturnes</i>	55
7	CARTOGRAPHIE REALISEE DE LA QUALITE DE LA NUIT AUX DEUX SAISONS	57
7.1	BASSE-SAISON : CARTOGRAPHIE DE LA QUALITE DE LA NUIT DE L'ILE DE PORQUEROLLES SANS LA CONTRIBUTION DES SOURCES DU CONTINENT	57
7.2	BASSE-SAISON : CARTOGRAPHIE DE LA QUALITE DE LA NUIT DE L'ILE DE PORQUEROLLES, DUE AUX SEULES SOURCES LUMINEUSES DU CONTINENT	59
7.3	BASSE-SAISON : CARTOGRAPHIE DE LA QUALITE DE LA NUIT DE L'ILE DE PORQUEROLLES EN DEBUT DE NUIT	61
7.4	HAUTE-SAISON : CARTOGRAPHIE DE LA QUALITE DE LA NUIT DE L'ILE DE PORQUEROLLES EN DEBUT DE NUIT	62
8	CROISEMENT ET ANALYSES CARTOGRAPHIQUES DES NIVEAUX DE POLLUTION LUMINEUSE AVEC LES DONNEES DE MILIEUX ET DE BIODIVERSITE DE L'ILE	64
8.1	INTRODUCTION A LA BIODIVERSITE PRESENTE SUR L'ILE DE PORQUEROLLES	64
8.2	CROISEMENT DE LA CARTOGRAPHIE DE LA POLLUTION LUMINEUSE AVEC LES DONNEES DE MILIEUX DE L'ILE ET DE SON POURTOUR	66

8.3	CROISEMENT DE LA CARTOGRAPHIE DE LA QUALITE DE LA NUIT AVEC LES DONNEES D'UN GROUPE D'ESPECES : LES CHIROPTERES.....	67
9	PISTES D' ACTIONS PROPOSEES POUR REDUIRE LES POLLUTIONS LUMINEUSES.....	69
9.1	PISTES D'AMELIORATIONS POUR L'ECLAIRAGE PUBLIC DE PORQUEROLLES.....	69
9.1.1	<i>Conception et fixation d'un objectif.....</i>	69
9.1.2	<i>Ajustements de la quantité de lumière émise et distribution spectrale.....</i>	70
9.1.3	<i>Réduction des temps d'éclairage.....</i>	72
9.1.4	<i>Amélioration de l'orientation de la lumière.....</i>	72
9.1.5	<i>Prise en compte des nuisances lumineuses dans les documents locaux, dans le PCAET et la déclinaison du SRCE.....</i>	74
9.2	PISTES D'AMELIORATION POUR LES MISES EN LUMIERE	75
9.3	PISTES D'AMELIORATION POUR LES ECLAIRAGES DU PORT	75
9.4	PISTES D'AMELIORATION POUR L'IGESA ET LES AUTRES RESIDENCES DE TOURISME.....	75
9.5	PISTES D'AMELIORATION POUR LES COMMERCES.....	75
9.6	PISTES D'AMELIORATION POUR LES BATEAUX DES PLAISANCIERS EN MOUILLAGE.....	75
9.7	PISTES D'AMELIORATION POUR LE PARC NATIONAL DE PORT CROS	76
10	ANIMATIONS, SENSIBILISATION, RENCONTRE DES ACTEURS LOCAUX ET DES HABITANTS.....	76
	Conclusion et Remerciements	77
	Annexe 1 - Glossaire	78
	Annexe 2 - Outils complémentaires	79
	Annexe 3 - Qualité de la nuit, paysages nocturnes, nuisances lumineuses : évolutions institutionnelles récentes	82
	Annexe 4 - Carte de localisation des points de mesures (page 9).....	83
	Annexe 5 - Table des illustrations présentées	84

1 Les acteurs

L'Association Nationale pour la Protection du Ciel et de l'Environnement Nocturnes (ANPCEN)

L'ANPCEN est la seule association nationale dont l'objet social est entièrement dédié aux enjeux pluriels de la qualité de la nuit et de l'environnement nocturne, et qui développe une expertise sur le sujet depuis 18 ans. Elle réunit une centaine d'associations membres, des individus, des collectivités, des organisations... Avec ses adhérents et la communauté Twitter, elle mobilise ainsi près de 9 000 personnes. Elle agit territorialement avec une soixantaine de correspondants locaux. L'Association Nationale pour la Protection du Ciel et de l'Environnement Nocturnes effectue également un plaidoyer national. Elle a ainsi porté des propositions entrées dans les lois et a été associée à chaque phase législative, réglementaire ou consultative des lois Grenelle de l'environnement, de Transition énergétique et de Reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages.

Elle coopère avec l'association International Dark Sky (IDA). Elle est reconnue d'intérêt général. Elle a reçu l'agrément national d'association de protection de l'environnement ; elle bénéficie, ainsi que ses outils, du soutien du Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer.

L'ANPCEN a pour mission de restaurer et promouvoir la qualité du ciel et de l'environnement nocturnes. Elle souhaite d'une manière générale faire progresser la connaissance et la prise en compte des impacts des éclairages artificiels nocturnes, par des mesures adaptées. Elle a choisi et promeut une approche globale et cohérente des impacts de la lumière (biodiversité et paysages, sommeil et santé, énergie et climat, éco-conception et gestion de fin de vie, budget et gouvernance, observation astronomique...). Pour ce faire, elle mène conjointement des actions nationales et locales et déploie une politique de partenariats.

Ainsi, **les Parcs nationaux de France et l'ANPCEN**, dans le but de renforcer leurs relations vers des objectifs communs, ont signé une convention de partenariat en 2012, renouvelée en 2016, pour poursuivre une coopération privilégiée nationale et locale, concourir à la sensibilisation aux différents enjeux de la qualité de la nuit, notamment ceux relatifs à la biodiversité et à la mise en place de trames nocturnes, renforcer les actions mises en œuvre dans les parcs dans le cadre de leurs chartes et développer le recueil de données, sensibiliser les collectivités locales et aménageurs publics et privés à la pollution lumineuse, contribuer et relayer auprès des communes le label national de valorisation des « Villes et Villages étoilés » organisé par l'ANPCEN, étudier les programmes de sciences participatives à mener ensemble et promouvoir leur partenariat.

Le parc national de Port Cros

Le **parc national de Port-Cros** a pour missions :

- de préserver les espèces, des milieux, des paysages et du patrimoine culturel,
- de soutenir et développer toute initiative ayant pour objet la connaissance et le suivi du patrimoine naturel, culturel et paysager,
- d'accueillir et de sensibiliser les différents publics à l'environnement,
- de participer au développement local et au développement durable.

La Charte du parc national de Port-Cros (PNPC) approuvée en décembre 2015 est un projet collectif de territoire qui a vocation à être mis en œuvre par l'ensemble des acteurs le composant. La réussite de sa mise en œuvre repose sur l'implication et la mobilisation de tous les acteurs du territoire.

La prévention, la suppression et la limitation des nuisances lumineuses, définies par la première loi Grenelle de l'environnement, font partie des objectifs et orientations de la charte du parc national de Port-Cros. Le Parc souhaite initier et promouvoir la prise en considération de la pollution lumineuse dans une démarche transversale qui porte sur les cœurs de Port-Cros et Porquerolles mais également l'ensemble de l'aire d'adhésion du parc national (regroupant fin 2016 les communes de Hyères, La Croix-Valmer, La Garde, Le Pradet et Ramatuelle).

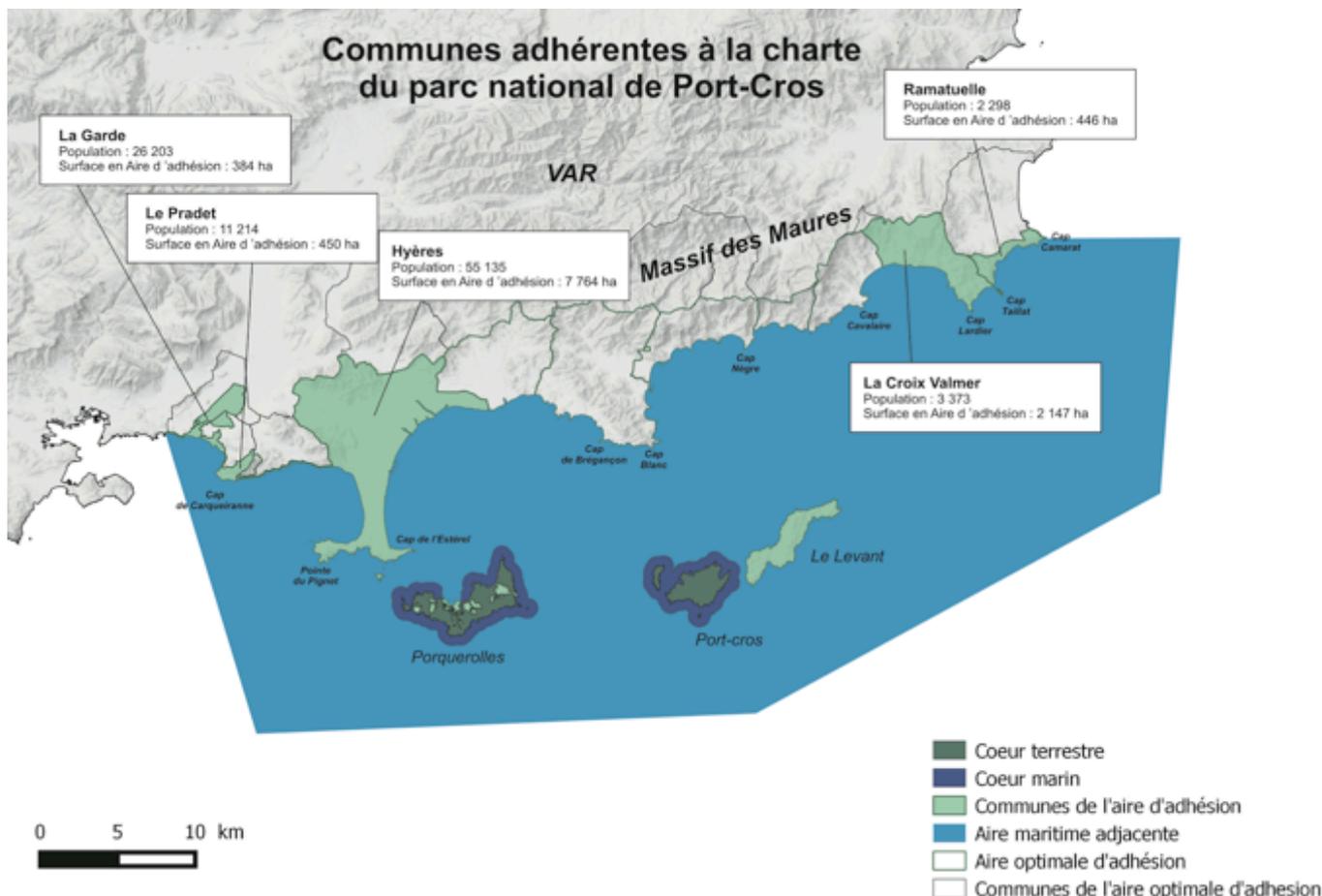


Figure 1 : Périmètre du parc national de Port-Cros avec les communes adhérentes à la charte fin 2016

La volonté d'agir est notamment exprimée par six ambitions pour le projet de territoire :

- Ambition 1 Préserver et mettre en valeur le patrimoine naturel, culturel et paysager littoral, maritime et insulaire du parc national ;
- Ambition 2 Préserver la biodiversité et les fonctions des milieux naturels terrestres et marins ;
- Ambition 3 Soutenir un développement local durable, valorisant les potentialités du territoire et respectant ses capacités ;
- Ambition 4 Promouvoir un aménagement durable et une mobilité apaisée ;
- Ambition 5 Préparer l'avenir en investissant dans la recherche, l'innovation et l'éducation au développement durable et en anticipant les évolutions du territoire ;
- Ambition 6 Développer une approche intégrée terre/mer par une coopération renforcée, une articulation des outils et une solidarité d'action entre acteurs ;

et par les mesures 1.I.2, 2.II.4, en cœur de parc et 1.3.3, 2.2.4, 2.5.3 en aire d'adhésion.

Aussi, dans le contexte :

- du partenariat national entre Parcs nationaux de France et l'ANPCEN,

- des missions, actions, publications et études menées par l'ANPCEN,
- du parc national de Port Cros, l'un des deux plus anciens Parc Nationaux de France et pionner des parcs marins en Europe.
- de la mise en œuvre de la charte du parc national de Port-Cros qui prévoit la lutte contre les pollutions lumineuses, et, notamment, la préservation des espèces, la mise en place d'expériences pilotes et innovantes, la volonté de faire des îles des territoires exemplaires, la mise en place d'une démarche de Gestion Intégrée de la Zone Côtière,
- de la mise en œuvre des lois dites Grenelle I et II, tant pour les différents enjeux environnementaux, que pour ceux spécifiques des nuisances lumineuses, de la mise en œuvre des lois sur la Transition énergétique pour la croissance verte et celle de Reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages,

l'ANPCEN et le parc national de Port Cros se sont rapprochés en 2014 pour accroître leurs coopérations, et en 2015, pour mettre en œuvre un partenariat scientifique unissant leurs efforts, leurs moyens et leurs compétences pour une expérimentation sur l'île de Porquerolles, en cœur de parc national.

La ville d'Hyères-les-Palmiers (56 500 habitants) et Porquerolles

La commune d'Hyères exerce sa compétence sur l'ensemble de l'île de Porquerolles dans le domaine de l'éclairage public et les services de la voirie de la commune ont fourni les données techniques et d'implantation des points d'éclairage et d'illuminations qui relèvent de sa compétence sur son périmètre (île Porquerolles, presqu'île Giens, ville d'Hyères).

Hyères est l'une des communes les plus étendues de France, avec 30 km entre ses deux extrémités : de la presqu'île de Giens jusqu'à la Vallée de Sauvebonne. Sur 13 238 ha de superficie, se rencontre une diversité de paysages. Enfin, la particularité de Hyères réside dans le fait qu'avec ses dix fractions de commune (la presqu'île de Giens, le Port, l'Aiguade, la Capte, les Salins, les Borrels, Sauvebonne, sans oublier les trois îles), de véritables villages, sont ainsi créés et lui confèrent une extension riche en diversité.

Plus de 1 million de touristes visitent l'île de Porquerolles chaque année avec un pic d'affluence pendant la saison estivale. Porquerolles compte 300 habitants permanents à l'année, 64% de résidences secondaires.

Port-Toulon-Provence (PTP)

L'Établissement public PTP est géré par un Comité syndical responsable de l'aménagement et de l'exploitation du Port de Porquerolles, ainsi que de 17 ports de sa compétence, sur une zone allant du Bruscat à l'île du Levant, en passant par les rades de Toulon et d'Hyères. PTP a intégré la Communauté d'Agglomération Toulon Provence Méditerranée (TPM) au 1er janvier 2017. Il a fourni les plans d'implantation et les données techniques des points d'éclairage du Port de Porquerolles.

2 Contexte de l'étude

Un mouvement à la fois national et local tend à faire progresser la conscience des impacts de l'augmentation continue de l'éclairage artificiel, afin d'en revoir la conception et les usages pour prévenir et réduire les effets néfastes.

Ainsi, les lois Grenelle de l'environnement ont exprimé la nécessité de mesures de prévention, suppression ou limitation des 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 (article 41 Loi n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement).

La loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement en précise les objectifs, et le décret n° 2011-831 du 12 juillet 2011 relatif à la prévention et à la limitation des nuisances lumineuses définit les installations lumineuses concernées et les équipements dont elles peuvent être constituées. Il précise les espaces naturels, dont les parcs nationaux, dans lesquels les installations lumineuses doivent faire l'objet de mesures plus restrictives que celles appliquées aux dispositifs implantés en agglomération et en dehors des agglomérations.

La réglementation prévoit par ailleurs, depuis 2012 et 2013, différentes mesures entrées en vigueur en juillet 2013 (arrêté du 25 janvier 2013), relatives à l'extinction en milieu de nuit des bureaux non occupés, des façades, des vitrines, ainsi que des mesures d'extinction relatives aux publicités, enseignes et pré-enseignes, pour certaines entrées en vigueur en juillet 2013 (décret n° 2012-118 du 30 janvier 2012, décret n° 2013-606 du 9 juillet 2013).

La loi n°2015-992 du 17 août 2015, relative à la transition énergétique pour la croissance verte, prévoit désormais que les nouvelles installations d'éclairage public sous maîtrise d'ouvrage de l'Etat et de ses établissements publics et des collectivités territoriales doivent faire preuve « d'exemplarité tant énergétique qu'environnementale », conformément à l'article L. 583-1 du code de l'environnement. Les plans climat-air-énergie territoriaux (PCAET) devront comporter un volet dédié à la maîtrise de la consommation énergétique de l'éclairage public et de ses nuisances lumineuses (articles 188 et 189, décret du 20 juin 2016).

Enfin, la loi n° 2016-1087 du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages a vu notamment la reconnaissance des paysages nocturnes comme patrimoine commun de la Nation, de la trame nocturne et le devoir pour tous de protéger l'environnement nocturne (articles 1er, 5, 6, 17, 171). Les sources lumineuses en mer sont également inscrites désormais aux côtés des sources sonores comme sources de pollution possible.

Le décret n°2014-45 du 20 janvier 2014 fait figurer quant à lui la pollution lumineuse dans les orientations générales pour la préservation et la remise en bon état des continuités écologiques.

Auditionnée, l'ANPCEN a porté pendant plusieurs années, auprès des parlementaires, du gouvernement et de l'Etat, le plaidoyer de toutes ces évolutions et a été associée aux différentes étapes législatives et réglementaires. Elle a également publié en 2015 une étude originale : « Eclairage du 21^{ème} siècle et biodiversité – pour une meilleure prise en compte des externalités de l'éclairage extérieur sur notre environnement » avec la Mission Economie de la Biodiversité du Groupe Caisse des Dépôts. Elle a publié en 2015 sa cartographie originale de la qualité de la nuit en France.

A travers ces textes, la nécessité d'une approche globale de l'éclairage artificiel et de ses différents impacts a été confirmée.

Les différents enjeux de la pollution lumineuse : biodiversité et paysages, sommeil et santé, énergie et gaz à effet de serre, éco-conception et recyclage, observation astronomique, gouvernance et budget sont décrits et commentés sur www.anpcen.fr

En une cinquantaine d'années, l'homme a bouleversé l'alternance naturelle du jour et de la nuit en développant de manière disproportionnée l'éclairage artificiel : **11 millions** de points lumineux pour

le seul éclairage public¹ en 2012, soit une progression **de 89 %** entraînant une augmentation **de 94 %** de lumière émise **en 25 ans seulement** (voir Figure 37 page 34). S'ajoutent à ceci **3.5 millions** d'enseignes lumineuses au moins, des publicités lumineuses, des éclairages privés, des plans lumière.... L'ensemble se traduit aujourd'hui par un halo de lumière enveloppant chaque ville et village de France, des lumières intrusives, des lumières éclairant le ciel ou fragmentant les milieux naturels et rompant l'alternance naturelle du jour et de la nuit qui permet la synchronisation de l'horloge biologique des êtres vivants. Sans remettre en question la nécessité d'éclairer pour des besoins évidents de sécurité et d'agrément, il s'agit de concevoir différemment l'éclairage pour en réduire les impacts négatifs et en faire un service adapté aux enjeux du XXIème siècle.

3 Objectifs de la mission

L'île de Porquerolles est située sur la commune de Hyères-les-Palmiers ; Il s'agit d'un site insulaire protégé, en partie dans la zone cœur du parc national de Port-Cros (293 ha en aire d'adhésion), **représentant 983 hectares de cœur terrestre** et **1645 hectares de cœur marin**. Elle présente des milieux naturels diversifiés (forêts, maquis, plaines cultivées, littoral avec côtes rocheuses dans la partie Est et Sud de l'île, ...) autour d'un pôle de vie principal (village et port) équipé d'éclairages extérieurs publics et privés et de quelques habitations isolés sur le reste de l'île. Elle est également inscrite en site Natura 2000 dont le Document d'objectifs (DOCOB) est en cours de révision. Une ZNIEFF (Zone Naturelle d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique) de type 2 qui constitue le socle de l'inventaire du patrimoine naturel est définie pour l'île. De plus, l'île constitue un réservoir de biodiversité identifié dans le schéma régional de cohérence écologique (SRCE) de la région PACA. Ceci contribue à en faire un milieu d'étude privilégié pour étudier les effets de la pollution lumineuse telle que perçue réellement par les différentes espèces de la biodiversité, ses impacts sur les écosystèmes dans les différents milieux de l'île, comme ses impacts sur la qualité de vie des îliens.

A travers ce site pilote, la mission vise à :

- Bâtir une approche globale de l'éclairage et de ses nuisances lumineuses,
- Faire progresser de manière opérationnelle la prise en compte les différents éléments des quatre lois et réglementations citées, dans les parcs nationaux dont celui de Port Cros,
- Etudier les effets d'éclairages littoraux sur la qualité de la nuit insulaire, et plus généralement à distance : en particulier la combinaison d'émissions lumineuses produites localement sur l'île et celles émises à distance depuis le littoral du continent (littoral hyérois, presque île de Giens et côte varoise), marqué par une alternance d'espaces agro-naturels et des pôles urbains (conurbation de l'agglomération toulonnaise, pôle hyérois, pôle Bormes-le Lavandou) avec un équipement très important en points d'éclairage.
- Accompagner l'amélioration de la conception, des usages et de la gestion de l'éclairage dans l'île de Porquerolles,
- Fournir des éléments utiles et des recommandations pour faire progresser concrètement la prise en compte de la prévention, limitation et suppression des nuisances lumineuses dans les usages et les choix d'éclairages extérieurs nocturnes,
- Faire progresser la pédagogie et la connaissance technique et scientifique des pollutions lumineuses, suivant une activité saisonnière, notamment touristique, en milieu littoral et insulaire méditerranéen protégé.

L'ANPCEN présente ainsi un état des lieux et son analyse de l'éclairage extérieur avec ses impacts en basse et haute saison. L'étude de la qualité de la nuit et de la pollution lumineuse sur l'île de Porquerolles est accompagnée de recommandations pour prévenir et réduire la pollution

¹ Ademe, 2014, données 2012

lumineuse, en visant notamment l'intégration, par les acteurs locaux et littoraux, des objectifs de préservation de la biodiversité et des paysages nocturnes, des effets à terme sur le sommeil et la santé, et des économies d'énergie. Le point de départ et les progrès de l'éclairage pourront être suivis notamment avec les étiquettes environnementales proposées.

4 Processus

L'étude a été menée pendant l'année 2016 par l'ANPCEN, sur site, à trois périodes différentes (21 et 22 janvier, 10 et 11 mars, 2 et 3 août 2016) avec les représentants du parc national de Port-Cros, ponctuellement accompagnés du chef de secteur et d'agents du Parc, d'acteurs locaux, de responsables du Port et responsables du Service voirie de la ville d'Hyères. Une journée de sensibilisation a été également programmée le 18 mars 2017.

L'étude a été effectuée d'abord à partir de :

- la rencontre des personnes responsables ou impliquées,
- la prise de connaissance des lieux, des milieux de biodiversité,
- une présentation publique de l'expérimentation et la rencontre des acteurs publics et privés (élus, service voirie, port, association, commerçants, représentante de la fondation Carmignac, habitants...),
- la prise de connaissance des rythmes sociaux et saisonniers sur l'île et sur le littoral hyérois, des problématiques et des enjeux locaux où interviennent l'éclairage public nocturne, les mises en lumière, la valorisation ou la sécurisation des lieux, des commerces, du patrimoine, les usages des habitants, ceux des professionnels, des vacanciers... ,
- la consultation de plusieurs bases de données : données techniques concernant les caractéristiques de l'éclairage et des installations fournies par la ville d'Hyères et Port Toulon Provence, références ANPCEN, données scientifiques concernant les milieux et la biodiversité de l'île (Inventaire national du patrimoine naturel - INPN du MNHN, documents et échanges avec le PNPC...),
- le repérage et l'état des lieux du parc d'éclairage et des usages de la lumière en basse saison, sur l'ensemble de Porquerolles-centre et sur les parties concernées de l'île,
- la définition d'un plan d'échantillonnage présenté sur la carte ci-dessous pour les sites de mesures à prospecter choisis (sur la partie continentale de Hyères jusqu'à la presque-île de Giens et sur l'île de Porquerolles), selon différents gradients de pollution lumineuse et dans différents types de milieux avec, majoritairement, un intérêt biodiversité à préserver, à proximité.



Figure 2 : Plan d'échantillonnage des différents sites de mesures manuelles (points oranges) et automatiques (étoiles jaunes) de la qualité de la nuit. Comme sur toutes les cartes incluses dans ce rapport, le Nord est en haut.

- mesures et prises de vues photographiques coordonnées, des émissions de lumière artificielle sur l'ensemble de l'île et du littoral hyérois, à chacune des trois périodes de travail sur site,
- mesures manuelles nocturnes, réparties sur deux nuits en basse saison puis deux nuits en haute saison, de la lumière artificielle et des luminances en de nombreux points de l'île et du continent hyérois (points orange sur la carte) couplées à des prises de vue photographiques,
- l'installation d'appareils de mesures automatiques (étoiles sur la carte) sur des bâtiments ou éléments naturels, fonctionnant en continu sur une période de quelques semaines et déplacés à 2 reprises sur d'autres sites choisis, selon le même protocole d'installation (installation effectuée par un agent du Parc).



Figure 3 : Exemples de mises en place au site du Galéasson (gauche) et sur un mât en bois depuis une habitation dans le centre-bourg de Porquerolles, d'instruments automatiques de mesure de la luminance de l'environnement nocturne

L'étude a ensuite consisté à traiter et analyser les données obtenues sur sites, afin d'établir un état des lieux de départ des niveaux de pollution lumineuse présents en basse et haute saison :

- à partir du recensement des sources lumineuses de l'éclairage public communal in situ ou à distance, des éclairages portuaires, des mises en lumière des bâtiments ou lieux publics et des éclairages extérieurs des acteurs privés (cf. partie 5 de ce rapport),
- par l'analyse des émissions de lumière mesurées à proximité et à distance des sources lumineuses avec prise en compte du relief et de la topologie des sites, en différenciant les 2 campagnes de mesures (basse et haute saisons) (cf. partie 6 de ce rapport),
- aboutissant à la réalisation d'une cartographie de la qualité de la nuit et des niveaux de luminance de l'environnement en basse et en haute saison (cf. partie 7 de ce rapport).

L'étude a consisté enfin, à partir de l'état zéro exposé dans l'étude, à décrire les pistes de progrès à mettre en œuvre rapidement ou à plus ou moins long terme :

- pour supprimer les points lumineux les plus nuisibles, polluants et coûteux et les remplacer en tout ou partie par des matériels adaptés aux enjeux de biodiversité et de santé, économes en énergie, sobres en quantité et durée de lumière émise, éco-conçus et adaptés à la sécurité et au confort des usagers,
- pour intégrer la gestion de la lumière artificielle nocturne aux objectifs publics à atteindre dans un espace protégé,
- pour accompagner de conseils et de préconisations spécifiques de nature à guider les choix des élus et des décideurs publics en matière de bonnes pratiques pour l'éclairage de l'île, pour la prévention de différents impacts et la préservation de la biodiversité locale.

Cette dernière partie de l'étude est accompagnée par des cartographies de projection des progrès atteignables en matière de qualité de nuit et de prévention, suppression ou limitation des nuisances et pollutions lumineuses, en suivant différentes recommandations de l'ANPCEN.

Enfin, la mission a prévu de compléter l'étude scientifique par une sensibilisation des acteurs locaux et des citoyens, lors d'une journée d'animation locale organisée avec le parc national, la ville d'Hyères et l'autorité portuaire prévue initialement en octobre 2016, puis reportée le 18 mars 2017.

5 Etat des lieux constaté de l'éclairage extérieur à Porquerolles

L'île de Porquerolles s'étend sur 7,5 kilomètres de long avec une largeur moyenne de 3 kilomètres pour une superficie de 12,54 km². 5 chaînons de collines, dont le point le plus haut culmine à 142m d'altitude au sémaphore, sont séparées par 4 vallons orientés Nord-Sud occupés par des domaines agricoles (vergers, oliveraies) et viticoles². Le village se situe en aire d'adhésion et bénéficie d'un classement en AVAP (Aire de Valorisation de l'Architecture et du Patrimoine), ex-ZPPAUP. L'ensemble de l'île est inscrit en site classé et le fort Saint Agathe est inscrit monument historique, comme 6 autres forts ou batteries de l'île.

L'ensemble des sources lumineuses extérieures, publiques et privées, est susceptible de contribuer à la pollution lumineuse. C'est pourquoi un constat a été effectué sur l'ensemble des sources concentrés sur le village de Porquerolles et son port, sur environ 3% de la surface totale de l'île.

L'analyse des différentes sources de lumière artificielle extérieure rencontrées sur l'île est réalisée en montrant l'orientation spatiale de la lumière, perçue depuis le sol, à partir de photographies nocturnes, calibrées photométriquement pour mesurer les luminances directes au niveau du sol, des façades et des milieux naturels adjacents. Cet examen est complété par une observation de l'orientation de la lumière émise au dessus de l'horizontale depuis un site d'observation avec une altitude supérieure à la hauteur moyenne des sources d'éclairage.

Les données géo-localisées provenant du système d'information géographique de l'éclairage public de Porquerolles fournies par les services techniques de la ville d'Hyères ont été mises à jour par l'ANPCEN, à travers les visites de terrain effectuées : constats de plusieurs changements de luminaires, vérifications des puissances indiquées à partir de mesures d'éclairages au luxmètre. Elles ont été complétées pour estimer en particulier la quantité de lumière émise directement au-dessus de l'horizontale, caractérisée par le paramètre ULOR.

Port Toulon Provence a fourni à l'ANPCEN un récapitulatif des installations d'éclairage sur le port qui a servi à géo-localiser les points lumineux, informatiquement par l'ANPCEN.

Enfin, les autres points d'éclairages privés ont été géo-localisés directement sur le terrain à l'aide d'un GPS et leurs caractéristiques techniques ont été estimées avec des mesures in situ.

La géolocalisation des différents points d'éclairages présents dans le village à Porquerolles est présenté sur la représentation ci-dessous avec :

- en blanc, les éclairages publics relevant de la commune de Hyères,
- en rouge, les éclairages du port,
- en orange, les éclairages du village de vacances de l'IGESA,
- en jaune, les éclairages privés appartenant aux hôtels et restaurants.

² Objectifs Natura 2000 pour l'île de Porquerolles (2008)



Figure 4 : Plan centré sur le village et le port de Porquerolles avec géolocalisation des différents types d'éclairages extérieurs rencontrés (en blanc, les éclairages publics appartenant à la commune de Hyères, en rouge les éclairages du port, en orange les éclairages du village de vacances de l'IGESA et en jaune les éclairages privés appartenant aux hôtels et restaurants)

5.1 L'éclairage public sur l'île

5.1.1 Rappel des principales fonctions de l'éclairage public et de ses éventuelles externalités négatives

L'éclairage public est utilisé pour voir, être vu, se déplacer en sécurité, prolonger le soir et une partie de la nuit des activités économiques, sociales, touristiques, culturelles... Il est de plus en plus utilisé au delà de ses aspects fonctionnels originels pour montrer des éléments de patrimoine architectural, créer des événements. Il éclaire de plus en plus souvent des éléments naturels et vivants. Des éclairages ponctuels deviennent parfois permanents. Les éclairages privés désignent souvent des activités commerciales, industrielles, tertiaires, ou spécifiques.

Dans le contexte d'une augmentation constatée de + 89 % de points lumineux en 25 ans et de + 94 % de lumière émise la nuit au niveau national, l'ANPCEN alerte régulièrement quant aux tendances au sur-éclairage, par rapport aux besoins réels, et à certains usages ou produits d'éclairage, lorsque

ceux-ci génèrent des nuisances, pollutions ou pressions délétères sur les paysages, les écosystèmes, la biodiversité, le sommeil et la santé, les consommations énergétiques et les dépenses publiques... De plus, l'augmentation globale des éclairages publics et privés conduit régulièrement à éclairer encore plus pour émerger dans un environnement trop lumineux.

Les nuisances et la pollution lumineuses³ au cœur des réflexions et des actions de l'ANPCEN combinent « des aspects qualitatifs et quantitatifs d'effets de la lumière artificielle nocturne » notamment :

- augmentation démesurée de la quantité globale de lumière artificielle émise :+ 94% entre le début des années 90 et 2012 ;
- rupture de l'alternance naturelle du jour et de la nuit (désynchronisation des cycles circadiens et saisonniers) ;
- augmentation des halos lumineux (énergie perdue, dépenses inutiles, dégradation du paysage nocturne, instaurent un crépuscule permanent, effets de leurre) ;
- augmentation de l'utilisation de lampes dont la distribution spectrale a un impact accru sur le vivant (effets liés au déséquilibre du spectre de certaines lumières sur les rythmes biologiques, effet de diffusion, pénétration dans les milieux naturels, fragmentation, effets d'éblouissements...) ;
- augmentation d'éblouissements due à la forte luminance de certaines lampes et à leur orientation (hypersensibilité rétinienne, toxicité, rétrécissement pupillaire, vision dégradée) ;
- lumières intrusives (sur les façades et entrant dans les maisons ou appartements, gênes ou troubles de la qualité du sommeil) ;
- propagation de la lumière à distance des sources dans l'atmosphère et dans les milieux (fragmentation des territoires et des habitats, désorientation des espèces migratrices, rupture ou mitage des trames écologiques) ;

Voir « Eclairage du 21^{ème} siècle et biodiversité », publication ANPCEN-Mission Economie de la Biodiversité du groupe Caisse des Dépôts, juillet 2015.

5.1.2 Relevés de situation ANPCEN des principaux luminaires rencontrés, caractéristiques et éventuels défauts

Le parc d'éclairage public de l'île constitué de **113 points lumineux**, hors espace portuaire, est concentré sur le village et réhabilité par sections selon les besoins les plus pressants, avec une réelle volonté de progrès. Le défi reste toutefois à relever, pour tendre vers un éclairage efficace tout en limitant son impact sur l'environnement, comme il a été constaté en détaillant ci-dessous les principaux types de luminaires rencontrés et les situations d'éclairage.

- Les principaux types de luminaires rencontrés (sauf indication contraire dans le texte, les lampes utilisées sont au sodium haute pression émettant une lumière jaune-orangée)

³ Les termes « nuisances lumineuses » et « pollution lumineuse » sont utilisés indifféremment dans ce rapport.



Figure 5 : Luminaire « Saphir » équipé d'une vasque bombée et installé sur une crosse inclinée à 8 mètres de hauteur : orientation de la lumière non optimale avec flux de lumière perdue.



Figure 6 : Luminaires de style sans réflecteur optique à parois vitrées avec lampe fluocompacte verticale apparente : flux perdu, lumière non dirigée, lumière intrusive, éblouissements, encrassement des parois en verre (entretien et perte rendement) et diffusion de la lumière vers le haut par le verre.



Figure 7 : Luminaires de style avec réflecteur optique, permettant un meilleur contrôle du flux lumineux (les vitres latérales participent quand-même à une diffusion de lumière directement vers le haut, amplifiée par le salissement). Mais l'ANPCEN a constaté que plusieurs d'entre eux présentaient une ampoule inclinée dépassant du réflecteur générant un important flux perdu et un éblouissement causé par une installation non optimale.



Figure 8 : Boule diffusante, perte de flux dans toutes les directions vers le bâti, le ciel et les milieux environnant et ampoule apparente responsable d'un éblouissement diminuant la visibilité.



Figure 9 : Borne de cheminement à lampe fluo-compacte avec vasque bombée et paralume peu efficace : lumière mal dirigée, mauvais rendement, entretien...



Figure 10 : Puissance installée trop élevée du fait du sol en terre battue avec fort coefficient de réflexion et mauvaise orientation des flux (lumière intrusive, éclairage important des façades de bâtiments et des éléments naturels : arbres, haies et arbustes à fleurs).



Figure 11 : A gauche : deux types de luminaires, un luminaire « boule » et son remplaçant récent « le Nella » ; le flux perdu directement à la verticale est plus faible pour ce dernier puisqu'il dispose d'un réflecteur mais, comme le montre l'image de droite, il reste un flux latéral perdu très important qui peut se propager directement à grande distance longitudinalement à la rue ou qui éclaire les fenêtres des résidences.

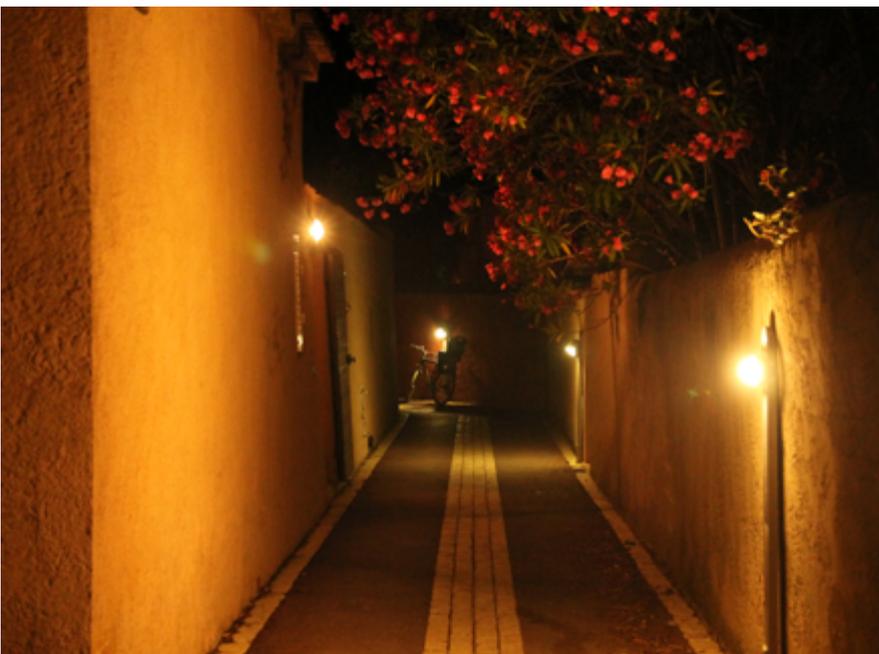


Figure 12 : Bornes murales de cheminement équipées de lampes fluo-compactes blanches à 1m du sol : moins de quantité de lumière émise par rapport à un luminaire sur mât de 4 m, mais l'orientation de la lumière n'est pas optimale : flux de lumière directement émis à proximité de l'horizontale et vers le haut par les fentes de refroidissement éclairant le mur d'en-face à plus de 2m de haut.



Figure 13 : Eclairage de la Place d'Armes par des modèles « Nella » (photo prise en basse-saison).

On observe une répartition photométrique particulière au sol sous forme d'un anneau d'éclairage avec peu de lumière à l'aplomb du mât. A l'inverse et de manière tout aussi dommageable, on observe un flux lumineux perdu directement au-dessus de l'horizontale du luminaire avec une importante émission dans un angle de 30° vers le haut éclairant les arbres de la place. Compte tenu du coefficient de réflexion élevé du sol, la luminance mesurée est importante. Il serait possible de diminuer la puissance lumineuse installée tout en conservant une visibilité confortable.



Figure 14 : Eclairage de la place d'Armes par un modèle de luminaire « Nella ».



Figure 15 : Impact direct de la lumière d'un autre luminaire d'éclairage public « Nella » sur un bougainvillier qui a fini par l'englober au fur et à mesure de sa croissance : perturbation du rythme biologique, modification de l'écosystème arbre et espèces, vieillissement prématuré... éclairage non fonctionnel

- L'ANPCEN constate donc que la plupart des luminaires présents sur Porquerolles sont très disparates, de qualités et d'installations **très perfectibles**, le plus souvent équipés de **sources lumineuses assez récentes (quelques années) mais plus puissantes que nécessaires**, donc de fonctionnement **plus coûteux**.

- Certains ont été remplacés récemment par des luminaires aux lampes moins énergivores et moins éblouissantes, mais au rendement affaibli par des paralumes qui absorbent la lumière plus qu'ils ne la dirigent vers sa cible, générant ainsi un surcoût de consommation. Ils **ne permettent pas de maîtriser de manière satisfaisante les émissions lumineuses**, même ceux installés récemment.
- La lumière émise pour éclairer les rues ne dépasse pas la plupart du temps une proportion de **20% de lumière utile**. L'essentiel éclaire ainsi les façades du bâti, les milieux environnants (haies, fleurs, arbres, mer) et le ciel en se diffusant dans l'atmosphère.



Figure 16 : Vue du village de Porquerolles depuis le Fort Ste-Agathe (nuit de pleine lune, fin janvier 2016)

- Sur cette photo, prise depuis le fort Ste Agathe, des émissions inutiles, coûteuses et sources de **pollution et nuisances lumineuses générées par le flux direct de lumière provenant des luminaires** (émis entre 5° et 18° au-dessus de l'horizontale) sont constatées.
- Des **émissions lumineuses dues au flux réfléchi** à la fois sur le sol et sur les façades des bâtiments sont également constatées, notamment pour trois rues de Porquerolles : rue du Langoustier, rue du phare, rue des Anciens Chais.
- Pour certains luminaires avec l'absence de bafflage des sources d'éclairage (une partie de l'ampoule d'éclairage est directement visible) ou avec un paralume de qualité médiocre, **l'apparition d'un « flare »⁴ de part et d'autre des sources les plus brillantes** peut être observée en particulier.

5.1.3 Synthèse des émissions lumineuses de l'éclairage public pour l'ensemble du village et pour deux rues spécifiques

Les différents constats qualitatifs effectués auparavant sur les principaux éclairages publics rencontrés dans le cœur de Porquerolles peuvent être complétés par une analyse de la lumière émise la nuit avec des étiquettes environnementales intégrées dans le cadran des progrès, outil original conçu par l'ANPCEN dès 2006 et constamment amélioré depuis. Elles permettent d'accompagner les équipes municipales dans une démarche d'amélioration de la qualité environnementale des matériels d'éclairages extérieurs et de leurs usages, avec notamment quatre indicateurs globaux qualifiant la lumière émise la nuit en extérieur. Combinées, elles permettent aussi de quantifier ses différents impacts directs ou potentiels sur l'environnement nocturne. De

⁴ Le « flare » est la conséquence des réflexions internes multiples de la lumière de forte intensité dans les différents éléments optiques constituant l'objectif de l'appareil photographique (dans la direction visée).

plus les objectifs liés à la lumière et ceux liés à la seule consommation d'énergie apparaissent bien distincts. Enfin, les équipes municipales peuvent situer leurs objectifs de progrès de manière simple et pédagogique.

Quatre étiquettes renseignent quatre critères principaux complémentaires et indissociables :

- (1) la quantité de lumière globale émise dans l'environnement la nuit à un instant donné (puissance lumineuse moyenne linéaire exprimée en kilo-lumens (klm) par km de voie éclairée ou par m² pour une surface éclairée dans le cas général), lors du fonctionnement de l'éclairage à pleine puissance (fonctionnement qualifié de nominal),
- (2) l'orientation de la lumière, caractérisée par l'ULOR exprimant le pourcentage de lumière émise directement au-dessus de l'horizontale,
- (3) la distribution spectrale de la lumière émise par les lampes utilisées⁵ (avec une attention spécifique au pourcentage de lumière émise aux basses longueurs d'ondes associées aux couleurs violettes, bleues et, en partie, vertes),
- (4) la consommation énergétique globale par km de voie éclairée (en MWh/km) tenant compte du temps de fonctionnement de l'éclairage public et de sa modulation au cours du temps.

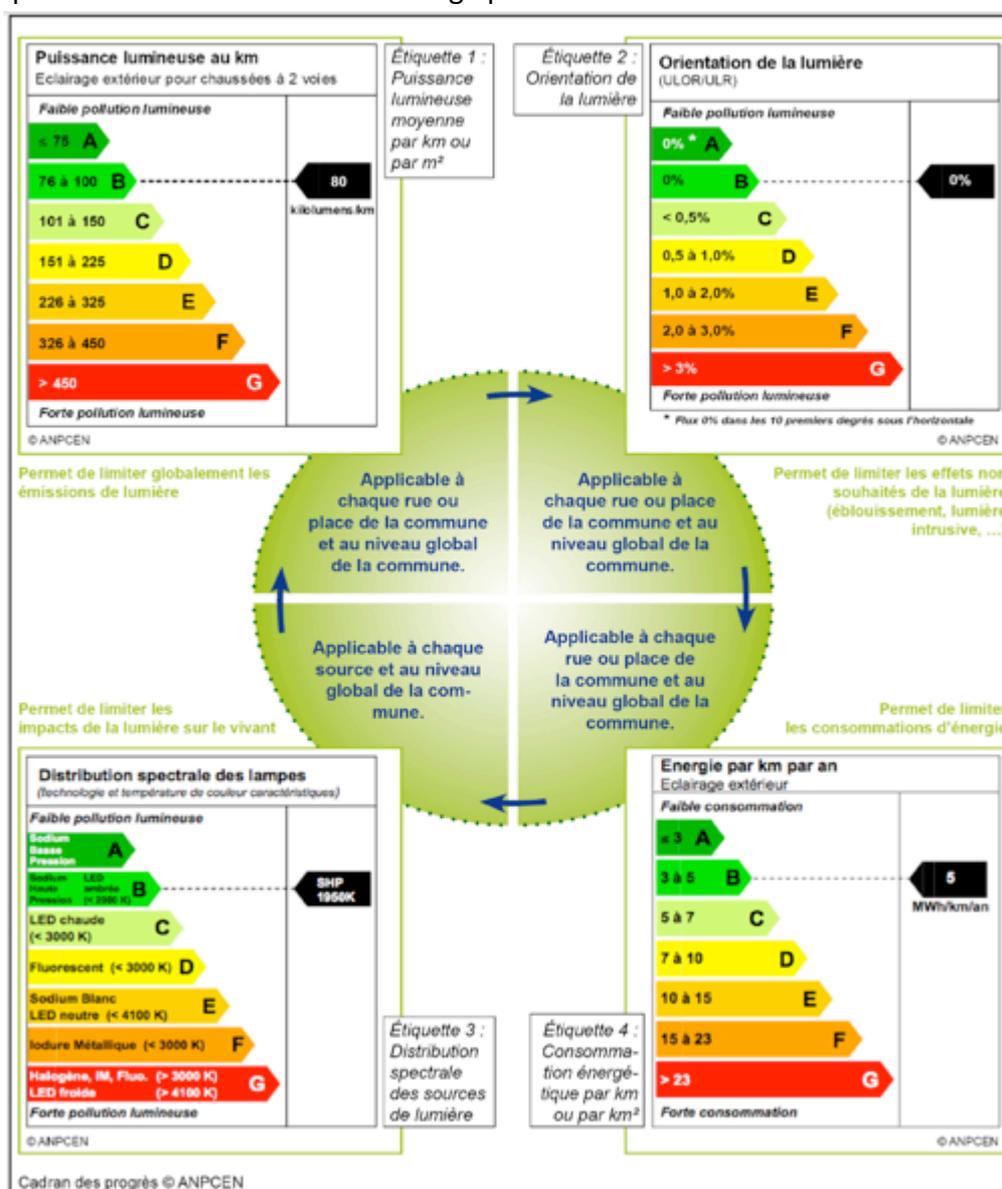
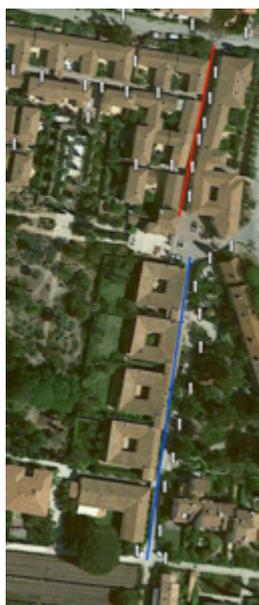


Figure 17 : Le Cadran des progrès de l'ANPCEN avec ses 4 étiquettes environnementales complémentaires pour évaluer la qualité environnementale de l'éclairage extérieur

⁵ La seule température de couleur (exprimée en degrés Kelvin) indiquée par les fabricants n'est pas suffisante pour caractériser le spectre émis par une lampe. Par exemple, certaines lampes à iodure céramique de dernière génération avec une température de couleur de 2700°K émettent quand-même 26% de lumière dans les basses longueurs d'ondes alors qu'une lampe fluo-compacte de 2700°K a une émission voisine de 18%.

Illustration : traduction du cadran des progrès pour l'exemple de deux rues de l'île



Pour illustrer l'utilisation de cet outil, un bilan détaillé est présenté pour deux rues de l'île de Porquerolles qui partent de la Place des deux étoiles devant la maison du Parc et qui sont représentées sur le plan ci-contre :

- une partie de la rue de la Ferme (en rouge) ; longueur : 75 mètres
- la rue des anciens Chais (en bleu) ; longueur : 120 mètres

Elles présentent un contraste important permettant d'illustrer différents points clés pour maîtriser les nuisances et la pollution lumineuse produites par chacune de ces installations d'éclairage.

Evaluation de l'empreinte des nuisances et pollution lumineuses pour la rue comprise entre la place des 2 étoiles et le Chemin du Langoustier

Etiquette environnementale ANPCEN		Niveau obtenu pour chaque étiquette
Puissance lumineuse moyenne linéaire	64 klm/km	A
ULOR moyen en position d'installation	35 %	G
Distribution spectrale des sources	32 % lumière émise entre 400 et 530 nm	G
Consommation électrique annuelle linéaire	7,6 MWh/km	D

Synthèse des émissions lumineuses

Puissance lumineuse nominale émise	4,8 klm
Emissions lumineuses sur une année	19,7 Mlm.h
Emissions lumineuses sur une année perçues par les espèces nocturnes	63 MW _{lum,spec} .h

Evaluation de l'empreinte des nuisances et pollution lumineuses pour la rue des anciens Chais

Etiquette environnementale ANPCEN		Niveau obtenu pour chaque étiquette
Puissance lumineuse moyenne linéaire	1334 klm/km	G
ULOR moyen en position d'installation	0,5 à 5 % *	entre C et G
Distribution spectrale des sources	8 % lumière émise entre 400 et 530 nm	B
Consommation électrique annuelle linéaire	58,9 MWh/km	G

Synthèse des émissions lumineuses

Puissance lumineuse nominale émise	160 klm
Emissions lumineuses sur une année	656 Mlm.h
Emissions lumineuses sur une année perçues par les espèces nocturnes	525 MW _{lum,spec} .h

* 0,5% si la lampe est bien installée à l'horizontale et 5% si l'ampoule est inclinée comme constaté en août 2016 qui implique qu'une partie de cette ampoule dépasse du réflecteur

Table 1 : Evaluation pour 2 rues de Porquerolles du niveau atteint pour chaque étiquette du cadran des progrès de l'ANPCEN, complétée par une synthèse des émissions lumineuses

Synthèse des émissions lumineuses globales pour l'éclairage public de Porquerolles (hors espace portuaire)

L'ANPCEN présente une synthèse des puissances électriques installées et de la consommation d'énergie électrique associée, ainsi que les émissions lumineuses perçues par les humains et plus généralement par les espèces nocturnes⁶ pour l'ensemble de l'éclairage public Porquerolles (hors espace portuaire) dans le tableau ci-dessous. Les aspects liés à l'énergie et à la lumière sont distincts.

Les émissions lumineuses sont exprimées soit pour un instant donné en kilo-lumens (klm) soit intégrées sur un intervalle de temps correspondant ici à une année complète de fonctionnement en Méga-lumens heures (Mlm.h) ou en Méga-Watt lumineux heures (MW_{lum,spec}.h) selon que ces émissions sont perçues par les humains ou les espèces nocturnes. Ces dernières grandeurs intégrées sur une année permettent en effet de prendre en compte les modulations possibles de l'intensité lumineuse au cours de la nuit ou même son extinction.

Eclairage public de Porquerolles (hors espace portuaire)		
Nombre de points lumineux d'éclairage public	113	
Puissance électrique des sources lumineuses installées	9,3	kW
Consommation électrique totale annuelle	43,8	MWh
Emission annuelle CO2 due à la consommation électrique	5,2	tonnes CO2
Puissance lumineuse nominale émise	910	klm
Emissions lumineuses sur une année	3731	Mlm.h
Emissions lumineuses sur une année perçues par les espèces nocturnes	3724	MW _{lum,spec} .h

Table 2 : Chiffres clés pour l'ensemble de l'éclairage public de Porquerolles (hors espace portuaire) avec un focus sur la quantité globale de lumière émise

- Energie : La puissance électrique moyenne par point lumineux est de **95W** ce qui est mieux que la moyenne nationale de 160W donnée dans l'étude de l'ADEME de 2014. Cependant, cette moyenne cache de fortes disparités puisque elle varie suivant les luminaires **de 14W à 165W**. En revanche, la consommation moyenne par habitant est **de 146 kWh**, ce qui est très supérieure à la moyenne nationale de 85 kWh.
- Lumière : La rue des anciens Chais analysée ci-dessus représente à elle seule **17,6% des émissions lumineuses de l'éclairage public de Porquerolles**. Une modulation de l'intensité de l'éclairage public, pour 10 % du parc, en cours de nuit avec une **réduction de puissance lumineuse de 40%** a commencé à être mise en place sur une partie du chemin du Langoustier pour les luminaires « Saphir » équipées de lampes au sodium haute pression.
- Lumière : **91%** de la quantité de lumière provenant de l'éclairage public est émise par des lampes au sodium haute-pression émettant une lumière jaune-orangée. Ces sources ont l'avantage d'émettre un spectre de lumière le moins néfaste pour la grande majorité des

⁶ Les espèces nocturnes ont une vision beaucoup plus sensible à la lumière que les humains et en particulier aux basses longueurs d'ondes (partie du spectre de la lumière émise située entre le violet et le vert, en passant par le bleu). Par exemple, il y a dix fois plus de bâtonnets que de cônes dans la fovéa de la rétine des mammifères nocturnes que dans celle des êtres humains, leurs cônes se situant majoritairement dans cette partie de la rétine. Voir étude MEB-ANPCEN, 2015

espèces nocturnes comme le rappelle le tableau 6 de la publication ANPCEN-MEB de 2015. L'impact de l'éclairage sur le vivant s'analyse néanmoins avec l'ensemble des critères.

- Lumière : Le choix de réduction ou modulation de puissance des lampes, de même que celui des sources de lumière jaune-orangée est incontestablement **une bonne pratique à poursuivre**.
- Carbone : Les émissions de CO₂ ne sont qu'indicatives et très partielles : elles ne reflètent que la part théorique nationale du carbone dans la consommation de l'électricité dédiée à l'éclairage public, sans analyse des pics de consommation à l'électricité à plus fort taux de carbone, sans intégration des émissions complètes des installations sur tout leur cycle de vie : production, distribution, installation, maintenance, collecte, recyclage...

5.2 Les mises en lumière

5.2.1 L'église Sainte Anne

L'église est mise en lumière par deux groupes de trois projecteurs disposés sur la place d'Armes, de chaque côté de l'église éclairant du bas vers le haut avec un canaliseur de flux pour limiter la lumière perdue. Un projecteur éclaire également l'intérieur du clocher. Le sur-éclairage, associé à la projection relativement uniforme de deux faisceaux lumineux, contribue à aplanir les reliefs du bâtiment.

- Ces deux points devraient amener à s'interroger sur la **valeur ajoutée de cette mise en lumière**.
- Lors de la mission ANPCEN en mars 2016, il a été constaté et signalé que la mise en lumière de l'église **restait en fonctionnement après 1h du matin, usage en infraction** avec la réglementation entrée en vigueur depuis juillet 2013 concernant l'extinction en milieu de nuit des bâtiments non résidentiels. L'analyse des mesures automatiques de qualité de la nuit effectuées en basse saison montre que la mise en lumière a fonctionné toute la nuit à cette période.
- Lors de la mission ANPCEN en août, il a été constaté une amélioration du suivi de réglementation puisque lors de notre passage le 3 août à 1h30, la mise en lumière était cette fois-ci éteinte.
- La flèche blanche sur la quatrième photo ci-dessous montre l'effet du **faisceau lumineux réfléchi vers le ciel** du fait de l'illumination de la façade de l'église par les projecteurs.
- La luminance constatée sur la façade de l'église est supérieure à **10 cd/m²**.
- Une rue éclairée de manière raisonnable a une luminance moyenne voisine de **0,5 cd/m² sans dépasser 1 cd/m²**.



Figure 18 : Illumination de la façade de l'église Ste Anne avec une luminance supérieure à 10 cd/m² mesurée à 1m50 de hauteur



Figure 19 : Projecteurs 3X150W avec canaliseur de flux, de chaque côté de l'église



Figure 20 : Vue de côté de l'éclairage de la façade avec les faisceaux issus des projecteurs bien visibles



Figure 21 : De bas en haut au tiers droit de l'image : flux réfléchi par l'illumination de la façade de l'église (non visible en contrebas) envoyé vers le ciel - vue depuis l'IGESA à 100m de l'église ; la voie lactée d'été est faiblement visible à gauche (en jaune à droite : parasols repliés)

5.2.2 La terrasse supérieure du Fort Ste Agathe

La terrasse du Fort est éclairée ponctuellement lors de manifestations comme le festival de Jazz en juillet en début de soirée (hors dysfonctionnement de la programmation de l'horloge constatée en haute saison, suite au festival).



Figure 22 : Vue du Fort Ste Agathe illuminé (image agrandie à droite) depuis le bout de la digue du port (site de mesure P15 le 3 août 2016 à 2h du matin). Le halo lumineux visible sur l'image de gauche au même endroit et englobant l'illumination du fort provient en fait principalement des luminaires du port installés le long du môle central jusqu'à la capitainerie.

- Il est important de noter que les autres forts sur l'île, patrimoine culturel important de l'île, ne sont pas mis en lumière.

5.3 Le port

5.3.1 Les luminaires et bornes de cheminements sur les pontons

Le port de Porquerolles représente environ 23% de la surface du village de Porquerolles et dispose de **681 places à quai** et de **329 places pour les visiteurs**.

Il compte **231 points lumineux**, constitués de différents types de luminaires ou de balisages lumineux.

- Le premier type de luminaire constaté est de type « boules lumineuses » simples ou triples, encore équipées de lampes à vapeur de mercure haute pression, dont la commercialisation est interdite depuis 2015⁷. Les autres ont été remplacés par des modèles « Spike » équipés de lampes à iodure métallique, émettant une lumière blanche sur un milieu naturel aquatique, et munis d'un réfracteur pour limiter le flux lumineux perdu dans toutes les directions comme généré par une boule lumineuse. Il sera constaté que ce système est pourtant très peu efficace et qu'une **importante quantité de lumière est émise à proximité et au-dessus de l'horizontale**.



Figure 23 : Trois modèles différents de luminaires installés sur le périmètre du port de Porquerolles. De gauche à droite : triple « boules lumineuses » équipées de lampes à vapeur de mercure haute pression, luminaire « Spike » équipé d'une lampe aux iodures métalliques et luminaire « Johanna » équipé d'une lampe au sodium haute pression.

- Le dernier type de luminaire installé (modèle Johanna) sur la ZAC du port et équipé de lampes au sodium haute pression est de loin le modèle le moins émetteur de nuisances lumineuses (ULOR **diminué d'un facteur 10** par rapport aux luminaires précédents et spectre moins néfaste).
- Le paralume utilisé pour le luminaire « Johanna » est pourtant de qualité médiocre et ne permet pas de supprimer la lumière émise à proximité et au-dessus de l'horizontale, qui peut ainsi se diffuser dans l'atmosphère.

Les pontons flottants du port sont éclairés par un balisage lumineux intégré aux **115 bornes** de branchement électrique utilisées pour les bateaux. Les bornes installées sur le ponton longeant la digue du port sont quant à elles équipées d'un double balisage lumineux permettant d'éclairer, sans avoir recours à l'installation de luminaires supplémentaires, le ponton flottant et la digue où les habitants et touristes aiment se promener. Les sources lumineuses en mer sont désormais reconnues comme sources possibles de nuisances lumineuses pour le milieu naturel.

⁷ Directive 2009/125/CE



Figure 24 : Les deux principaux types de bornes lumineuses utilisées pour les pontons flottants (à gauche), ainsi qu'une vue du quai A du port avec une allée de luminaires « boules » vétustes.

5.3.2 La mise en lumière des palmiers à proximité de la capitainerie

Cette mise en lumière composée de trois projecteurs à LEDs encastrés dans le sol a été mise en place depuis l'été 2016. Ces projecteurs émettent une lumière très blanche avec une température de couleur égale à 4500°K. Cette mise en lumière est éteinte à 0h30 tous les soirs.

L'installation des trois spots n'a pas de vocation fonctionnelle. L'illumination est un facteur de fragilisation et de vieillissement prématuré des arbres, de perturbation de leur cycle biologique naturel comme de l'écosystème aquatique proche et une contribution supplémentaire au halo généré fortement par le site puisqu'une très grande partie du flux émis de bas en haut est envoyé directement ou réfléchi vers le ciel.

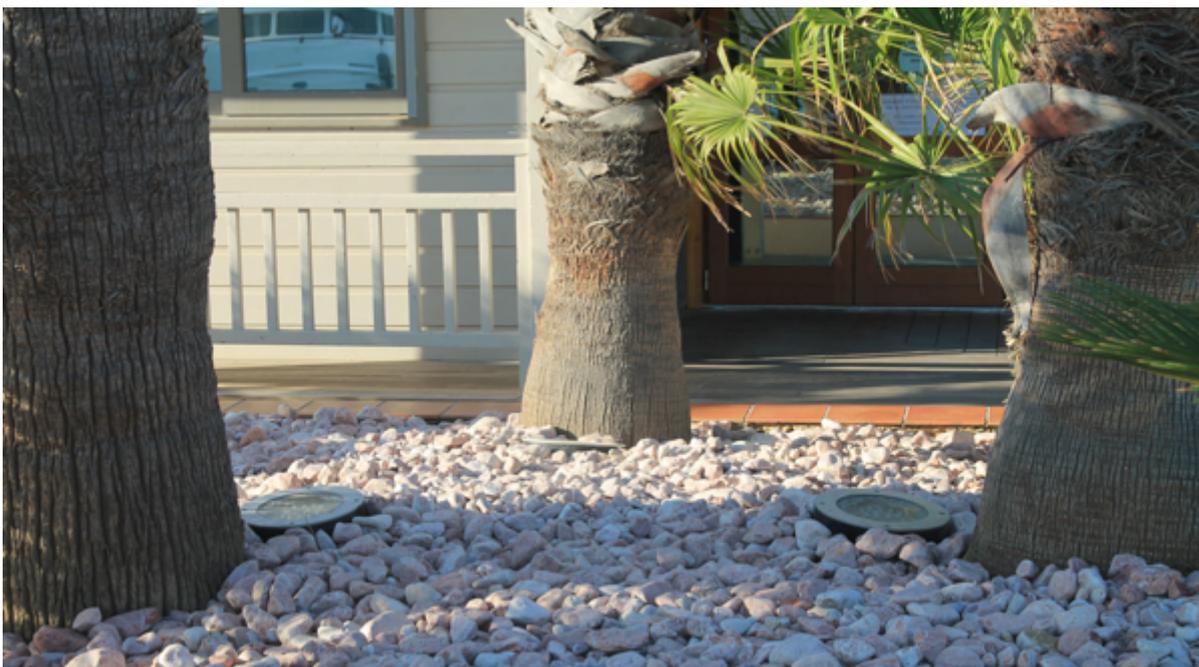


Figure 25 : Mise en lumière des palmiers de la Capitainerie du Port par des projecteurs à LEDs, au sol, éclairant donc de bas en haut.

5.3.3 Le port vu à distance

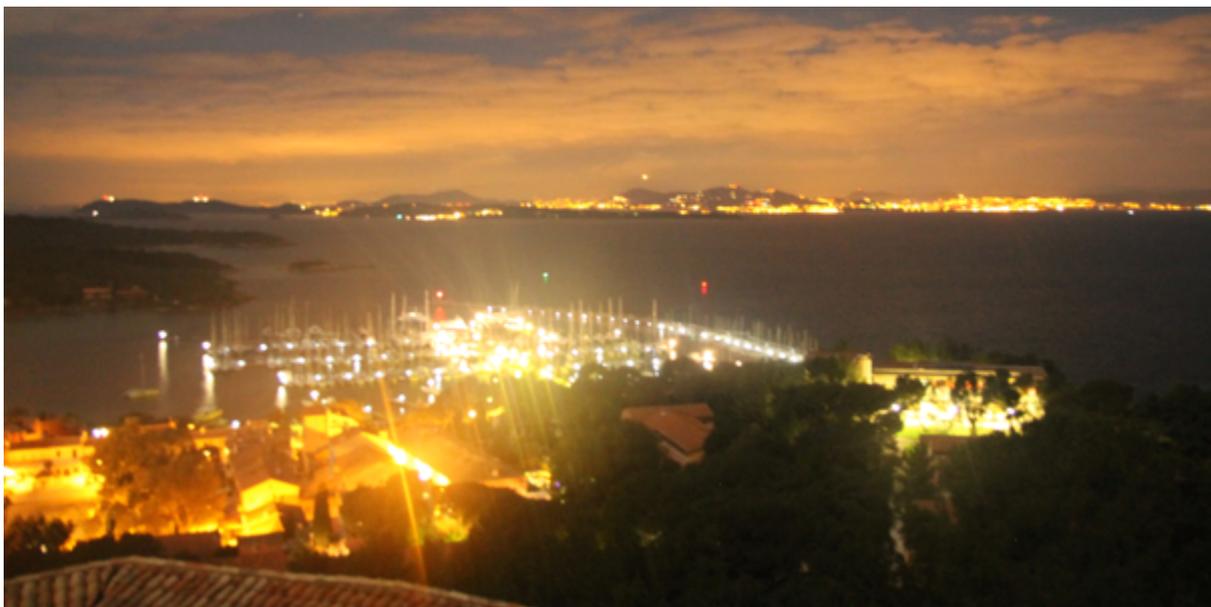


Figure 26 : Vue du port de Porquerolles et de l'IGESA depuis le Fort Ste-Agathe

La photo ci-dessus, prise depuis la terrasse du Fort Ste Agathe, montre la mauvaise orientation de la lumière émise des bornes et luminaires, partant directement vers le ciel.

- A noter : la **quantité très importante de lumière émise par des luminaires récents** du Port, censés être plus performants et choisis en remplacement des anciennes « boules » lumineuses dont il reste encore quelques spécimens visibles sur cette même image.



Figure 27 : Vue du port de Porquerolles depuis la Tour Fondue sur la pointe de la presque-île de Giens (située à 4,5 km de distance), en basse saison par temps brumeux (image en haut) et en haute-saison par ciel clair (image en bas)

- L'image ci-dessus montre une autre vision du port, depuis la Tour Fondue sur la presque-île de Giens, où l'on retrouve la très forte émission de lumière au dessus de l'horizontale vers le ciel et au-dessous de l'horizontale vers le milieu aquatique, par les nouveaux luminaires récemment installés en remplacement des lampes « boules ».
- **Un temps brumeux favorise la propagation et la diffusion de la lumière émise, et la visibilité du halo à distance** (image en haut).
- Les éclairages du port au premier plan sont d'autant plus visibles qu'il s'agit de **lumières blanches** (contrairement à celles du bourg-centre), que le flux émis est très peu maîtrisé du fait des caractéristiques des luminaires, et que la **vue depuis le littoral est directe**, sans aucun effet de masquage lié au relief ou à l'urbanisation.
- La dernière image ci-dessous permet de prendre encore de la distance par rapport à l'île de Porquerolles et de rendre compte, depuis le château de Hyères situé sur une colline surplombant son centre-ville, de la portée de la lumière émise par ces éclairages situés désormais à 15 km. On remarquera aussi sur cette photographie les effets générés par le port de Hyères et le parc d'attractions « Magic World ».

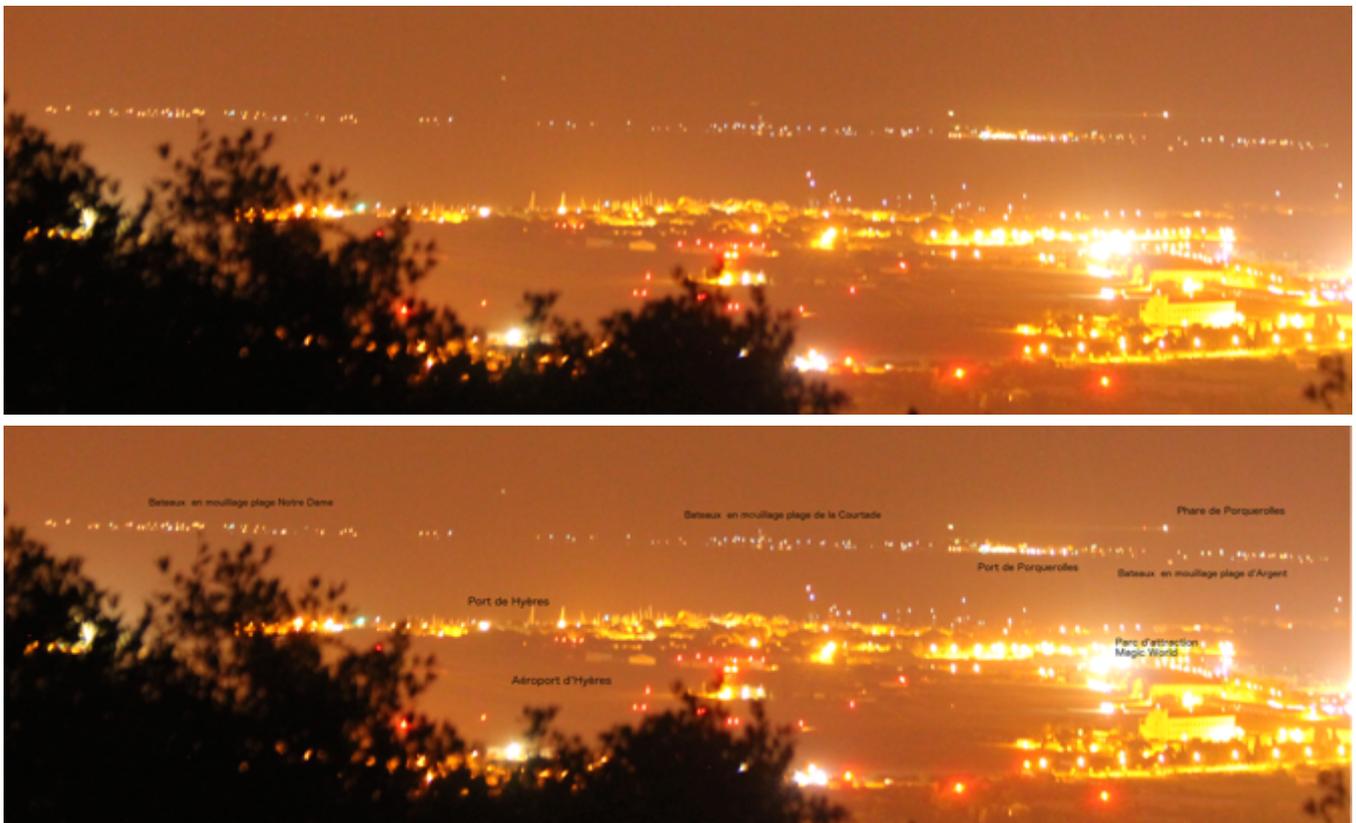


Figure 28 : Vue du port de Porquerolles et de l'ensemble de l'île (à 15km de distance) en arrière-plan depuis le Château d'Hyères (en haut) et sa version légendée (en bas) en haute-saison.

5.3.4 Synthèse des émissions lumineuses pour le port

L'ANPCEN présente une synthèse des puissances électriques installées et de la consommation d'énergie électrique associée, ainsi que les émissions lumineuses pour l'ensemble du port de Porquerolles dans le tableau ci-dessous. Les aspects liés à l'énergie et à la lumière sont distincts.

Port de Porquerolles		
Nombre de points lumineux d'éclairage extérieurs et cheminement piétons pontons	231	
Puissance électrique des sources lumineuses installées	3,7	kW
Consommation électrique totale annuelle	17,4	MWh
Emission annuelle CO2 due à la consommation électrique	2,1	tonnes CO2
Puissance lumineuse nominale émise	251	klm
Emissions lumineuses sur une année	1029	Mlm.h
Emissions lumineuses sur une année perçues par les espèces nocturnes	3293	MW _{lum,spec} .h

Table 3 : Chiffres clés pour l'ensemble de l'éclairage du Port de Porquerolles (hors espace portuaire) avec un focus sur la quantité globale de lumière émise

Il n'y a pas de modulation de l'intensité de l'éclairage public en cours de nuit au niveau du port de Porquerolles.

- Energie : La puissance électrique moyenne par point lumineux est de **16W** avec une forte disparité entre les bornes consommant chacune seulement quelques Watts et les luminaires avec une moyenne de **80W**.
- Lumière : Bien que la quantité globale de lumière émise par les luminaires du port soit plus de trois fois inférieure à celles du village, le fait que la majorité de cette lumière soit blanche (lampes à vapeur de mercure, iodure métallique, LEDs blanches) avec une forte émission dans le violet, bleu et vert, implique une perception pour les espèces nocturnes terrestres, aériennes ou aquatiques, presque aussi importante que les émissions lumineuses du village dans son ensemble. L'émission de lumière est d'autant plus importante que la maîtrise de l'orientation des flux lumineux est très faible et que son atténuation potentielle par le bâti est inexistante dans cet espace ouvert sur la mer. La lumière est donc susceptible d'être diffusée et visible à forte distance en mer.
- Carbone : mêmes remarques que celles exprimées sur le précédent tableau.

5.4 Les autres éclairages extérieurs privés

5.4.1 Les commerces et restaurants autour de la Place d'Armes



Figure 29 : Panorama de la place d'Armes en haute-saison en début de soirée

- L'éclairage de la place centrale traduit aujourd'hui un manque de cohérence et de lisibilité d'ensemble.
- La sur-puissance de certains luminaires contraste avec des zones noires parfois entre des pieds de mâts, dû à leur mode d'installation.
- De plus, le sol a un fort pouvoir réfléchissant, il augmente ainsi l'effet du sur-éclairage.
- Les pertes de flux lumineux au-dessus de l'horizontale concernent tous les équipements notamment autour de la place (bien visibles à 30° ou plus de hauteur notamment sur les arbres) et les lumières intrusives, voire inutiles, sont nombreuses sur les façades.
- A noter en particulier le fort éblouissement produit par certains projecteurs utilisés pour éclairer les terrasses du fait de leur mauvaise orientation (cf. photos ci-dessous).





Figure 30 : Zoom sur certaines zones autour de la place d'Armes en haute saison et en début de soirée

- Lors de la mission ANPCEN en mars, il a été signalé, aux partenaires du Parc et aux représentants de la commune, en le découvrant sur place, que des projecteurs étaient installés dans la plupart des arbres (notamment eucalyptus) de la place par les commerçants et utilisés en haute-saison pour éclairer les terrasses des restaurants. Ces mises en lumière, émettant ici de surcroît de la lumière blanche à forte composante bleue, impacte fortement le rythme végétal circadien de ces éléments d'un patrimoine naturel à préserver.



Figure 31 : Mise en lumière d'eucalyptus (à gauche) et éclairage récemment installé pour les terrasses de restaurants (à droite)

- Il a été constaté lors de la mission suivante en août, que ces projecteurs avaient été enlevés en grande majorité et remplacés par des projecteurs installés sur des mâts dédiés.
- Des éblouissements demeurent pour la vision des personnes installées aux terrasses ou des promeneurs longeant la place, et une ambiance lumineuse dont la convivialité, sans doute améliorée, peut encore progresser (maitrise du flux, température de couleur...).

5.4.2 Les autres acteurs de l'île

- la Maison du parc national de Port Cros : ne comporte pas d'éclairage extérieur.

- les locaux de travail et d'habitation du parc national au « Hameau Agricole de Porquerolles » : l'allée qui dessert les habitations mitoyennes des agents est éclairée jusqu'à 23h par des luminaires au ras du sol et rallumée à 6h en hiver. Les locaux administratifs et les travées agricoles sont éclairés par un système de détection automatique sur minuterie ; pas d'éclairage extérieur installé sur les sentiers et chemins d'accès depuis le village.

- le centre de vacances IGESA (Institution de GEstion Sociale des Armées) de Porquerolles et ses équipements : projecteurs d'éclairage à l'arrière de l'IGESA pour l'éclairage des terrains de tennis ainsi que la réception et situés à 100m de la base voile. Les éclairages extérieurs de la cour centrale fonctionnent en hiver toute la nuit alors que le centre de vacances est en semi-activité.



Figure 32 : A gauche : panorama à proximité de l'entrée de l'IGESA illustrant les pertes de flux et les illuminations des façades et des arbres. A droite : cour intérieure de l'IGESA avec des lanternes de styles avec ampoule verticale éclairant l'arbre jusqu'à sa cime ainsi que les façades des appartements en location

- l'espace base de voile sans éclairage extérieur et la plage d'Argent avec un projecteur de forte puissance à lumière blanche lié au restaurant.
- les hôtels : peu de projecteurs éclairant les différents établissements.
- les résidences de vacances et logements collectifs



Figure 33 : Résidence de vacances - rue du Langoustier : les luminaires « boules » utilisés éclairent fortement les arbres et façades des différents appartements.

- la fondation Carmignac d'art contemporain installée dans la plaine de la Courtade : pas de mise en lumière extérieur prévue à ce jour.

A noter : dans le Sud de l'île, se trouvent un petit lotissement (ex-bâtiment militaire) à côté du phare et quelques maisons isolées utilisées pour les exploitations viticoles, sans lumières extérieures, ni éclairage public.

5.4.3 L'éclairage des bateaux de plaisance

430 bateaux par jour sont recensés en moyenne dans les eaux de Porquerolles en juillet et en août⁸. Dans ceux qui restent au mouillage la nuit, essentiellement sur la côte Nord de l'île, environ 75% de la flotte est composée de voiliers.

Une dernière source d'émissions de lumière, particulièrement en haute saison, provient donc des feux de balisage et de mouillage des bateaux de particuliers qui se regroupent le long de la côte Nord de l'île, à proximité de la plage de Notre Dame, de la plage de la Courtade et de la plage d'Argent. Les photos ci-dessous montrent ce phénomène visible à proximité comme à distance. Une autre vision de l'importance du phénomène est visible sur la photo présentée dans la partie 5.3.3. La réglementation nautique implique dans le cas d'un mouillage d'un bateau de moins de 30

⁸ Objectifs Natura 2000 pour l'île de Porquerolles (2008)

mètres⁹ l'utilisation d'un feu de balisage blanc visible sur 360° avec une portée minimale de 2 milles marins correspondant à 3,7 km.



Figure 34 : Navires au mouillage le long de la plage Notre Dame au premier plan à gauche (à 1,5 km) avec en limite de crête le sémaphore, vue sur le port de Porquerolles au centre (à 4 km) avec le halo orangé du village, et autres navires au mouillage le long de la plage d'Argent à droite (à 4,7 km), vue depuis la pointe des Mèdes (site P3b, carte p. 9, août 2016).



Figure 35 : Vue des navires au mouillage, à gauche le long de la plage Notre Dame (à 300m, site P3c, carte p. 9, août 2016) et à proximité de la pointe du Pin à droite où sont également visibles les émissions lumineuses de la Londe-les-Maures et le halo lumineux de Bormes-les-Mimosas et du Lavandou (site P4b, carte p. 9, août 2016)

- On pourra remarquer en particulier la **diversité des teintes** pour les feux de mouillage qui vont du **blanc chaud au blanc froid** ainsi que leurs **intensités plus ou moins importantes**.

5.4.4 Les sources non prises en compte dans l'étude

Les sources de lumières de l'intérieur des bâtiments émettant vers l'extérieur, le phare de l'île qui est le dernier phare habité de Méditerranée en France (avec un rayon de portée de 50 kilomètres) et le sémaphore ont été exclues de l'étude.

Parmi ces trois types de sources, c'est bien sûr le phare qui émet le plus de lumière dans l'environnement et qui a donc potentiellement le plus d'impact. Les phares maritimes figurent

⁹ Envergure maximale des bateaux dans les zones de mouillage autorisées autour de l'île de Porquerolles (cf. arrêté préfectoral : http://www.portcrosparcnational.fr/var/ezwebin_site/storage/original/application/b5a993f68b9071962ea0a6e9cb383e98.pdf - le 20 novembre 2016)

comme une des premières sources de lumière artificielle nocturne identifiées dans la littérature scientifique comme ayant un impact direct sur l'attraction et la désorientation d'oiseaux migrateurs qui, perturbés par la lumière, peuvent mourir de collision avec le bâtiment.

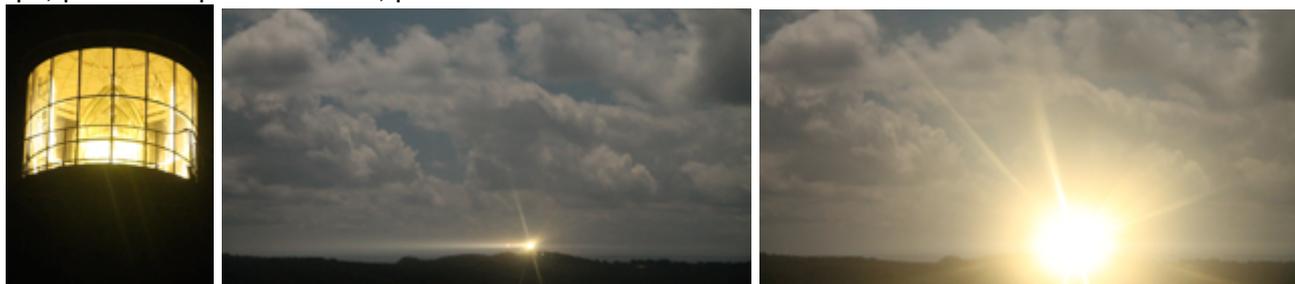


Figure 36 : Effets du phare de Porquerolles (éclat maximal en vision directe à droite) visible depuis le Fort Ste Agathe (1,8 km) par nuit de pleine lune éclairant les nuages

Différentes études rapportent que ces collisions se produisent principalement par mauvais temps (mauvaise visibilité ou brouillard) mais qu'elles diminuent fortement dès lors que le faisceau lumineux du phare est intermittent, comme c'est le cas de la plupart des phares actuels dont celui de Porquerolles qui émet deux éclats blancs groupés toutes les dix secondes.

- Aucune étude sur ce sujet n'a été menée sur l'île de Porquerolles à notre connaissance en lien par exemple avec le couloir de migration pré-nuptiale de passereaux identifiés dans la plaine de la Courtade.
- La clarté naturelle générée par la lune permet de bien noter, notamment à l'instant du flash maximum, la très forte diffusion de la lumière sur les basses couches de l'atmosphère lorsque le ciel est couvert.

6 Analyses effectuées des mesures de qualité de la nuit

6.1 Choix des grandeurs physiques et unités de mesure utilisées

Mesures

Au cours de cette étude, l'ANPCEN a effectué des **mesures automatiques et manuelles** de luminances de l'environnement (ciel, surface éclairée, ...) à **proximité et à distance** des sources lumineuses artificielles. Il s'agissait de quantifier les niveaux de pollution lumineuse tels qu'ils sont perçus depuis le sol par les humains et par la biodiversité et non depuis l'espace comme avec les photographies aériennes ou satellitaires qui traduisent principalement l'implantation de points lumineux en caractérisant trop partiellement¹⁰ les émissions lumineuses. Ces mesures effectuées depuis le sol seraient utiles pour les schémas d'aménagements territoriaux, pour la définition et le suivi des trames écologiques. Il en est de même pour les nombreuses études scientifiques s'intéressant à la sensibilité des espèces à la lumière artificielle la nuit ou à l'impact à grande échelle des halos lumineux sur les écosystèmes. Les niveaux de pollution lumineuse tels qu'ils sont perçus depuis le sol par les humains et par la biodiversité et non depuis l'espace élargissent fortement l'intérêt à se préoccuper des effets des nuisances lumineuses, bien au-delà de la seule perception du ciel étoilé par les humains.

L'ANPCEN exprime ici les mesures effectuées pour la luminance de l'environnement dans la direction visée, en unités relatives par rapport à un site de référence, en l'absence de pollution lumineuse¹¹ et de lune et sans couverture nuageuse, avec une bonne transparence de l'atmosphère.

¹⁰ C'est alors principalement la luminance émise à proximité de la verticale du lieu qui est montrée, alors que la luminance émise à proximité de l'horizontale reste en grande partie non visible.

¹¹ La variation de la luminance naturelle du ciel suivant la direction visée est prise en compte dans le calcul de cet indice.

Indices

L'ANPCEN a distingué « **indice de qualité de la nuit** » pour une mesure ponctuelle dans une direction particulière et « **indice global de qualité de la nuit** » pour caractériser le niveau de luminance moyenné dans toutes les directions. Il s'agit du rapport entre la luminance mesurée et celle qu'on aurait en absence de pollution lumineuse. Cette approche permet de comparer directement chaque site de mesure et permet de traduire de manière directe l'importance de la pollution lumineuse présente pour chaque site.

La gradation utilisée

La gradation de qualité de nuit utilisée peut évoluer de « maximale » à « très mauvaise ». Plus la valeur des indices est élevée, plus le niveau de luminance et de pollution lumineuse est important.

Un indice de qualité de la nuit égal à 1.5 correspond à une bonne qualité de la nuit où la contribution de la luminance artificielle représente 33% de la luminance mesurée. Un indice de qualité de la nuit égal à 2 correspond à une luminance provenant des sources artificielles de lumière égale en valeur à la luminance d'un environnement sans pollution lumineuse. La qualité de la nuit associée est qualifiée de moyenne. Si l'indice de qualité de la nuit devient supérieur à 3.4, la contribution de la luminance artificielle devient prépondérante et représente plus de 70% de la luminance mesurée. La qualité de la nuit associée est alors qualifiée de médiocre. Si l'indice de qualité de la nuit est supérieur à 5, la contribution de la luminance artificielle représente plus de 80% de la luminance mesurée et la qualité de la nuit est indiquée comme faible.

Repères : le contexte en France

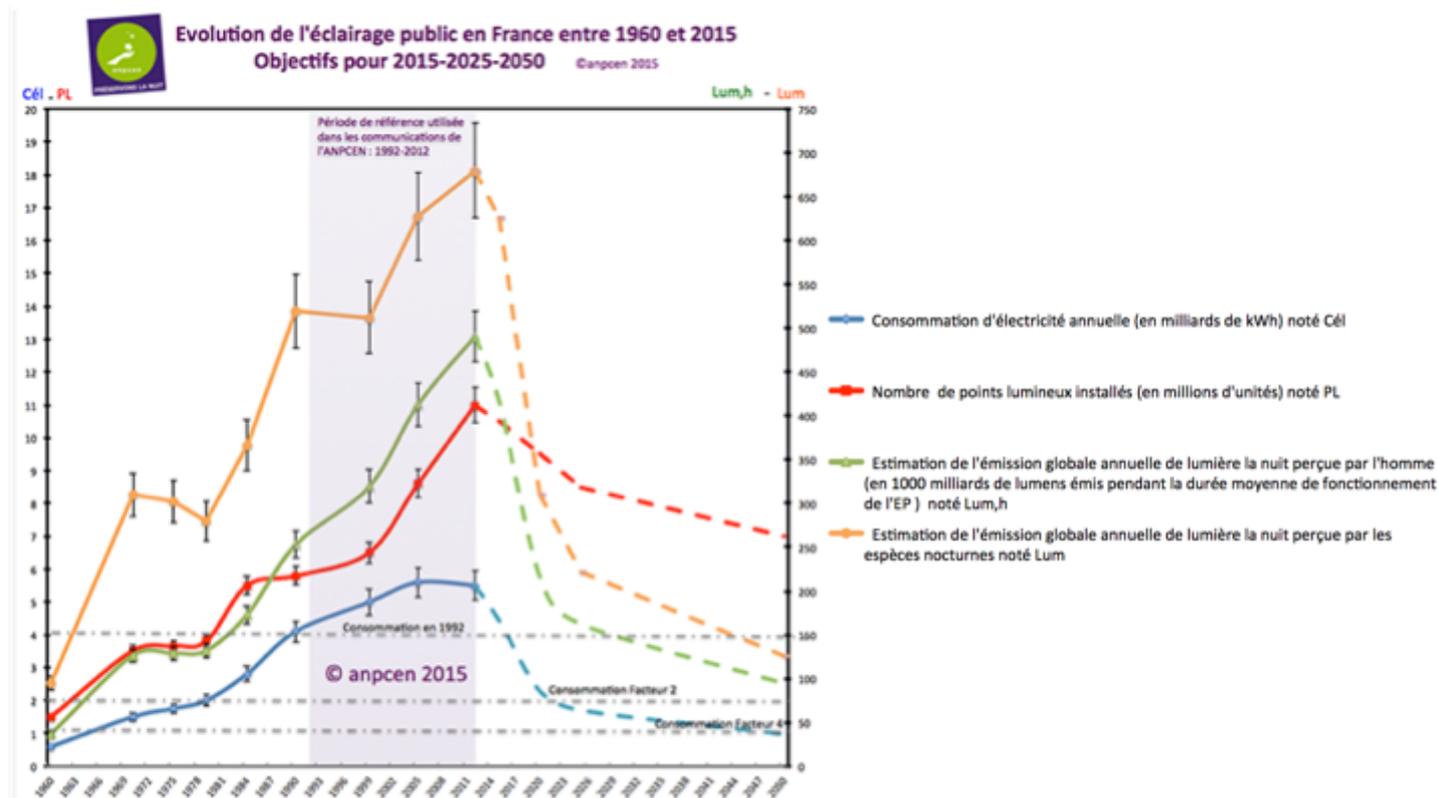


Figure 37 : Evolution de l'éclairage public en France entre 1960 et 2015 et objectifs nationaux recommandés par l'ANPCEN pour 2015-2025-2050

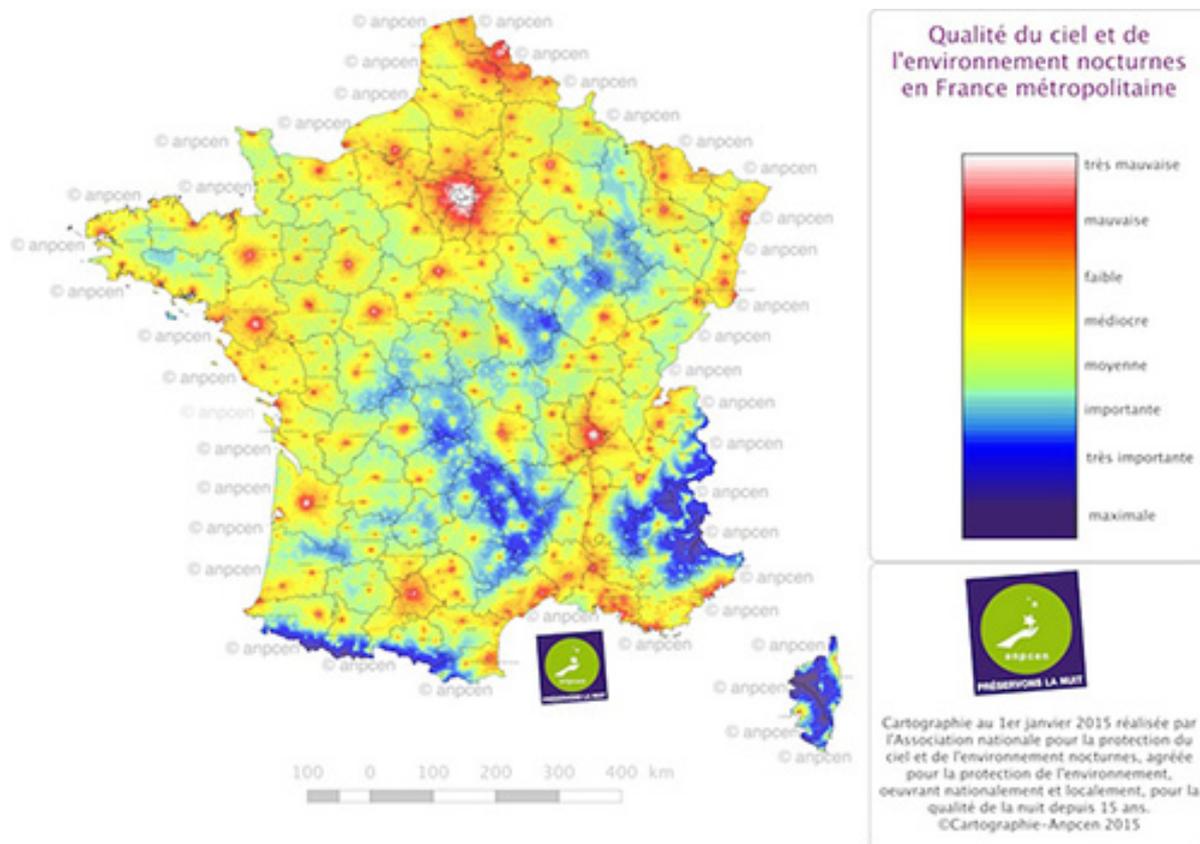


Figure 38 : Cartographie-ANPCEN© de la qualité de la nuit en France en 2015

Quelques repères

Lieux et fonctionnalités		Eclairage moyen au niveau du sol (en lux)	Estimation du nombre total d'étoiles observables à l'œil nu par les habitants
Eclairages naturels (sans pollution lumineuse)	Nuit naturelle sans lune par ciel nuageux	≤ 0,0001	0
	Nuit naturelle sans lune par ciel clair	0,001	≈ 5000
	Premier Quartier de lune	≤ 0,02	≈ 500
	Pleine lune	≤ 0,20	≈ 50
Eclairages artificiels extérieurs de voirie	Trottoir piétons	entre 2 et 4 *	variable suivant le niveau de pollution lumineuse
	Eclairage public de rues	entre 4 et 8 *	

* valeurs préconisées par l'ANPCEN pour les éclairages artificiels des rues et trottoirs permettant de se situer entre les niveaux A et C de l'étiquette ANPCEN n°1 « puissance lumineuse moyenne linéaire »

Table 4 : Eclairages moyens au niveau du sol pour différents lieux et fonctionnalités et estimation du nombre d'étoiles observables à l'œil nu par les habitants

Au même titre que l'alternance du jour et de la nuit ou que celle des saisons, le cycle de lunaison de notre satellite crée une variation naturelle de la luminosité du ciel et de l'environnement nocturne qui a façonné l'équilibre et l'adaptation de la nature, des écosystèmes, des rythmes biologiques et comportementaux des espèces depuis des milliards d'années. Elle ne peut donc pas être considérée comme une « pollution lumineuse », elle ne perturbe ni ne contrarie artificiellement les rythmes du vivant... La variation de luminosité est constante et régulière et répartie de manière homogène dans l'environnement. Elle est un moyen de comparaison utile pour apprécier l'intensité des éclairages artificiels et des halos qu'ils produisent.

6.2 Calendrier des campagnes de mesures de la qualité de la nuit

Période	Mesures Automatiques	Mesures Manuelles	Lieu et code utilisé dans le rapport	Périodes des mesures	Particularité / Remarques
BASSE SAISON	Appareil 1	X	Coeur Village (AP1a)	du 10/03 au 06/04	Ambiance Village
	Appareil 2		Port (AP2a)	du 10/03 au 06/04	Ambiance Port
	Appareil 3		Fort Ste Agathe (AP3a)	du 10/03 au 06/04	Ambiance générale village-port (hauteur)
	Appareil 4		Galéasson (AP4a)	du 10/03 au 06/04	Point Est Falaise (espace naturel)
	Appareil 5		Langoustier (AP5a)	du 14/03 au 08/04	Pointe Ouest de l'île (espace naturel)
	Appareil 1	X	Oustaou (AP1b)	du 06/04 au 09/05	Influence Continent 5 (Falaise Sud) + Corridor écologique passereaux
	Appareil 2		Base voile (AP2b)	du 06/04 au 09/05	Influence du continent 3 (Côte Nord)
	Appareil 3		Castel Ste Claire Hyères (AH3b)	du 08/04 au 13/05	Influence du continent 1
	Appareil 4		Espace nautique port Hyères (AH4b)	du 08/04 au 13/05	Influence du continent 2 littoral
	Appareil 5		Plaine Courtade (AP5b)	du 08/04 au 13/05	Influence continent 4 (Ambiance plaine) + Corridor écologique passereaux
	X	ANPCEN avec le soutien logistique du PNPC	Plage d'Argent (P6)	nuit du 10 au 11 mars	Ambiance plage hivernale
			Village (P8,P10,P11)		Ambiance village en basse saison
			Périphérie village (P0,P19)		Ambiance générale village-port (hauteur)
			Port (P13,P14,P15,P16)		Ambiance générale port
Autres zones de l'île (P1 à P5)			Espaces naturels en basse saison		
Littoral / Giens (H1 à H11)			Ambiance Littoral en basse saison		
HAUTE SAISON	Appareil 1	X	Coeur Village (AP1a)	du 13/07 au 14/08	Ambiance Village
	Appareil 2		Port (AP2a)	du 13/07 au 16/08	Ambiance Port
	Appareil 3		Fort Ste Agathe (AP3a)	du 13/07 au 14/08	Ambiance générale village-port (hauteur)
	Appareil 4		Galéasson (AP4a)	du 13/07 au 14/08	Point Est Falaise (espace naturel)
	Appareil 5		Langoustier (AP5a)	du 13/07 au 14/08	Pointe Ouest de l'île
	Appareil 1	X	Castel Ste Claire Hyères (AH3b)	du 25/08 au 11/10	Influence du continent 1
	Appareil 2		Espace nautique port Hyères (AH4b)	du 24/08 au 12/10	Influence du continent 2 littoral
	Appareil 3		Base voile (AP2b)	du 14/08 au 15/09	Influence du continent 3 (Côte Nord)
	Appareil 4		Plaine Courtade (AP5b)	du 14/08 au 15/09	Influence continent 4 (Ambiance plaine Oustaou-Courtade) + Corridor écologique passereaux
	Appareil 5		Oustaou (AP4b)	du 14/08 au 15/09	Influence Continent 5 (Falaise Sud) + Corridor écologique passereaux
	X	ANPCEN avec le soutien logistique du PNPC	Plage Notre Dame (P3b, P4b)	nuit du 2 au 3 août	Effet Mouillage
			Village (P8,P10,P11)		Ambiance estivale Village
			Périphérie village (P0,P19)		Ambiance estivale périphérie Village
			Port (P15)		Ambiance estivale Port
X	ANPCEN	Autres zones de l'île (P1 à P6)	nuit du 3 au 4 août	Espaces naturels en haute-saison	
		Littoral / Giens (H1 à H11)		Ambiance estivale Littoral	
Appareil 3	X	Coeur Village (AP1c)	du 15/09 au 9/10	Ambiance estivale Village	
Appareil 4		Fort de l'Alycastre (AP4c)	du 15/09 au 9/10	Influence Continent (côte Nord)	
Appareil 5		Périphérie Sud village (AP5c)	du 15/09 au 9/10	Périphérie village	

Table 5 : Calendrier des campagnes de mesures de la qualité de la nuit en basse et haute saison

Les repérages des différents points sont indiqués sur la carte p.9 et en annexe 4

6.3 Analyse des mesures automatiques

6.3.1 Principes

Les instruments calibrés et mis à disposition par l'ANPCEN pour cette étude permettent des mesures automatiques toute la nuit et selon les saisons, pour chaque site choisi. Celles-ci permettent ensuite une représentation plus réaliste de la qualité de la nuit, pour un ensemble complet de conditions météorologiques incluant l'amplification de la diffusion des halos lumineux par temps nuageux. Elles permettent de caractériser les différents niveaux de luminances rencontrées pendant les crépuscules (civil, nautique et astronomique) puis durant la nuit astronomique. Ces appareils effectuent des mesures à proximité du zénith du lieu. L'utilisation en parallèle de mesures ponctuelles effectuées manuellement dans toutes les directions (de l'horizon au zénith) et complétées par des prises de vues photographiques nocturnes permet d'extrapoler ces

données pour en déduire et qualifier plus précisément la qualité globale de la nuit pour chacun des sites prospectés.

6.3.2 Basse-saison : Présentation des statistiques générales pour tous les sites (mars-avril) en période de nuit noire (sans lune)

Pour chaque site, les mesures enregistrées correspondent environ à 10 000 mesures effectuées pendant la période de nuit noire, en dehors des périodes de crépuscule, quelque soit la couverture nuageuse. Pour chaque site de mesure, est tracé un diagramme en boîte¹² (Figure 39) caractérisant globalement la distribution statistique des mesures enregistrées traduites en indice de qualité de la nuit. Un site avec une pollution lumineuse négligeable correspond à une valeur de 1.

Les données présentées de chaque site sur chaque graphique correspondent respectivement aux mesures effectuées au mois de mars et avril. Les sites ont été classés de gauche à droite par ordre croissant du niveau relatif moyen de luminance mesuré.

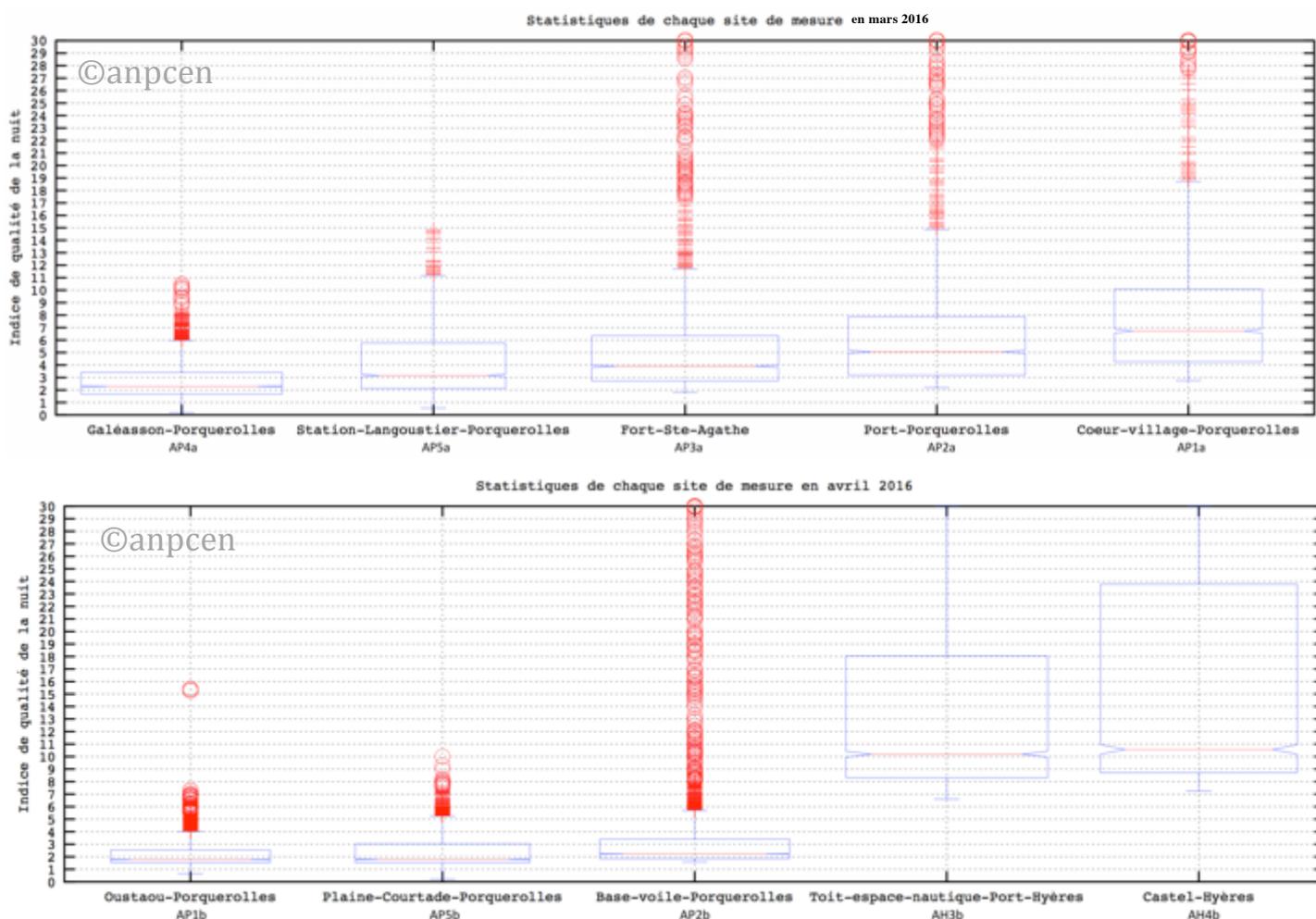


Figure 39 : Diagramme en boîte représentant la distribution statistique des mesures pour les différents sites en basse-saison

- Ces diagrammes caractérisent l'amplitude de variation de la qualité de la nuit observée sur une période de mesure donnée.
- L'asymétrie visible sur tous les sites entre le 1^{er} et le 3^{ème} quartile correspond à **l'amplification de la pollution lumineuse par la couverture nuageuse** qui est présente même pour les sites les plus

¹² Chaque boîte correspond à l'intervalle de qualité de la nuit entre le 1er quartile et le 3ème quartile de la distribution rassemblant 50% des mesures. La ligne rouge correspond quant à elle à la médiane des mesures et l'encoche sur le côté de chaque boîte à l'intervalle de confiance à 95% pour cette valeur médiane. Les lignes de part et d'autres de la boîte correspondent aux 2ème et 98ème centile de la distribution des mesures.

reculés de l'île de Porquerolles, comme expliqué dans le paragraphe 6.3.4 et lors de l'analyse des photos. Les points rouges indiquent les valeurs extrêmes mesurées et correspondent à la présence d'une couverture nuageuse à basse altitude.

- Ainsi les **sites ayant la meilleure qualité de la nuit** se trouvent au Sud de Porquerolles à l'Oustaou et dans la plaine de la Courtade avec une valeur médiane de 1.80. Bien que ces sites soient à 2 km du centre du village de Porquerolles et à plus de 15 km du centre-ville de Hyères, ces sites les mieux préservés sont encore **en moyenne 80% plus lumineux à proximité du zénith que le niveau d'absence de toute pollution lumineuse, égal à 1**.
- Les **sites ayant la moins bonne qualité de la nuit** en moyenne et classés par ordre croissant se trouvent au cœur ou à proximité des zones urbanisées comme le Port de Porquerolles, le village de Porquerolles, le Port de Hyères et le centre-ville de Hyères avec respectivement des valeurs médianes égales à 5.06, 6.73, 10.19 et 10.57. Le gradient maximal de pollution lumineuse est orienté dans la direction Nord-Sud et dans une moindre mesure, un gradient secondaire est visible dans la direction Ouest-Est. Ces éléments sont illustrés dans la cartographie de la pollution lumineuse présentée dans la partie 7 de ce rapport.



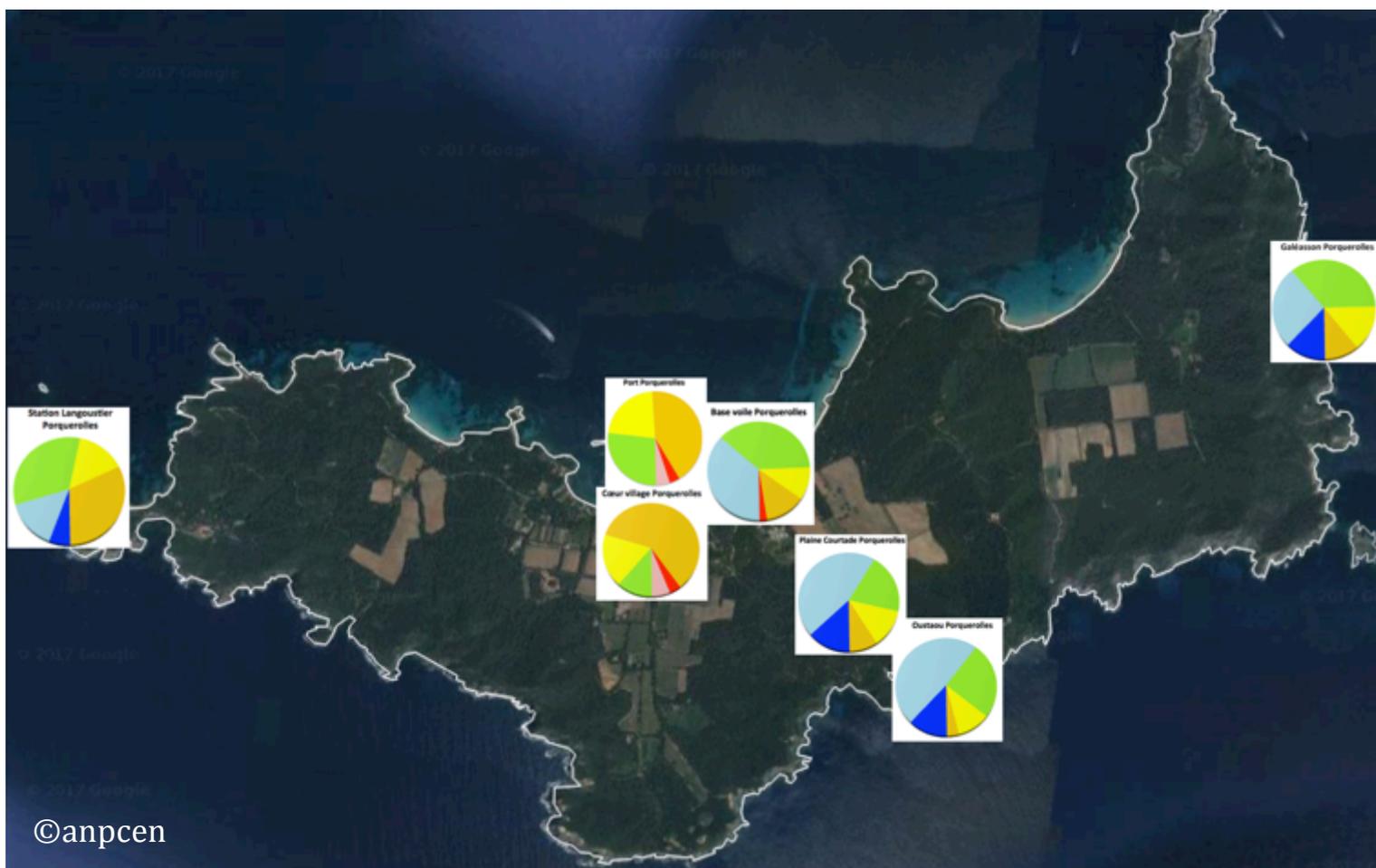


Figure 40 : Répartition des variations de qualité de la nuit mesurée pendant la période de nuit noire en mars et avril pour chaque instrument de mesures automatiques installé sur Porquerolles et le continent.

Pour chaque site de mesures, est présenté sur les figures 40 ci-dessus le pourcentage de temps pendant lequel différents niveaux de qualité de la nuit ont été mesurés.

- dans les zones urbanisées, la qualité de la nuit est la plupart du temps au mieux « **faible** », alors que dans les sites éloignés sur Porquerolles, la qualité de la nuit est en général « **moyenne** » et peut même devenir « **bonne** » en milieu de nuit, voire quelquefois « **très bonne** », selon les conditions météorologiques, comme les parties suivantes vont le préciser.

6.3.3 Basse-saison : Evolution de la pollution lumineuse au cours de la nuit pour tous les sites, par ciel clair, en période de nuit noire

Pour les différents sites mesurés en basse saison, l'analyse statistique des mesures obtenues est effectuée dans un premier temps en l'absence de nuages et toujours pendant la période de nuit noire (sans lune) pour cinq tranches horaires, afin de mettre en évidence s'il y a une évolution significative des émissions lumineuses au cours de la nuit.

Evolution de la pollution lumineuse au cours de la nuit par ciel clair pour l'ensemble des sites mesurés

Période Basse saison

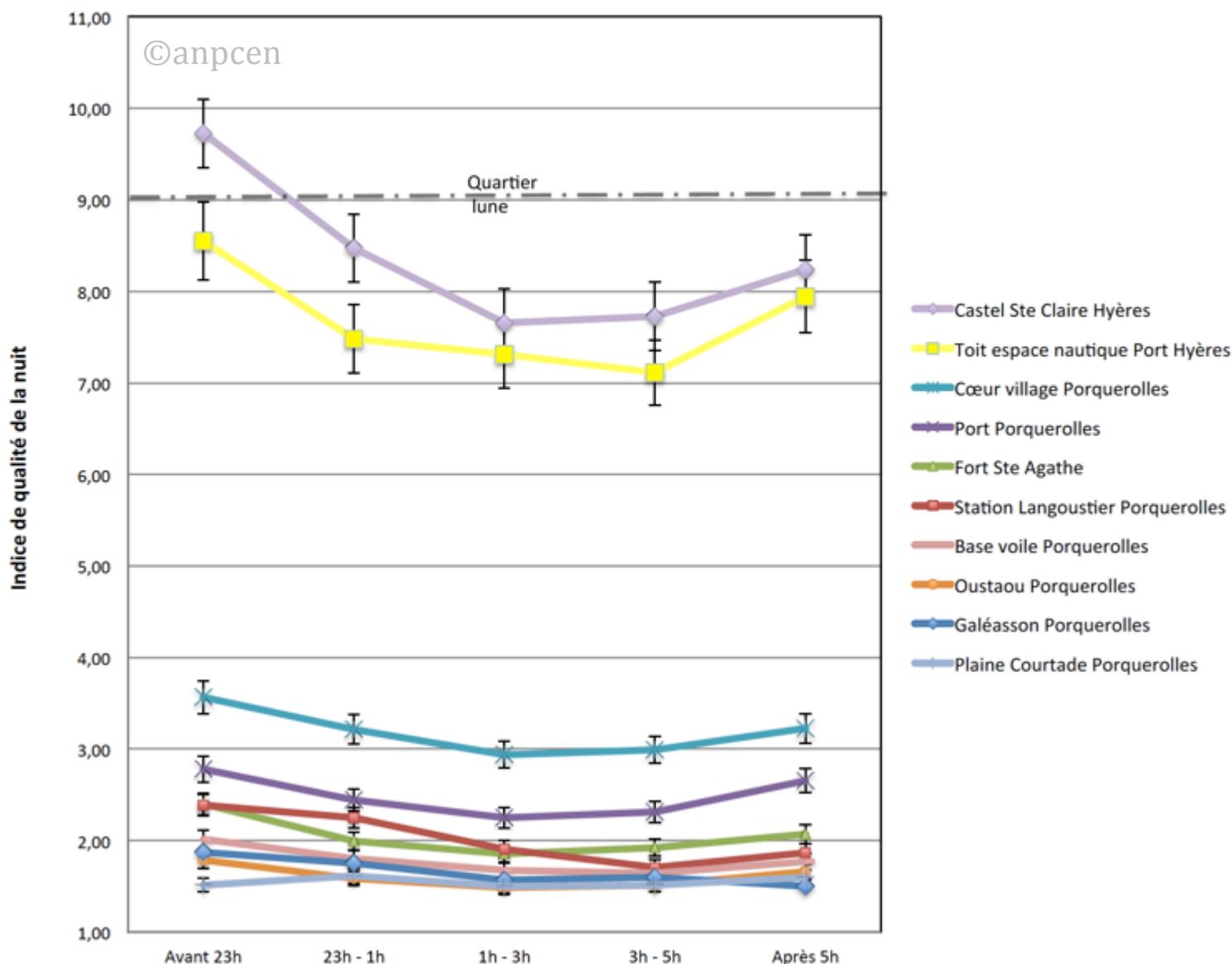


Figure 41 : Evolution de l'indice de qualité de la nuit suivant l'heure pour l'ensemble des sites mesurés en basse saison par ciel clair

- Pour les deux sites situés sur le continent hyérois, il est constaté alors clairement une diminution continue des émissions lumineuses entre le début de soirée jusqu'à 1h du matin apportant une **amélioration de la qualité de la nuit de 27%** dans le centre-ville de Hyères et de **17%** au niveau du port de Hyères.
- Cette amélioration relative de la qualité de la nuit est la conséquence de la fermeture des commerces, de la réduction de puissance lumineuse des luminaires au cours de la nuit sur une partie du parc d'éclairage public, mais aussi de l'extinction des mises en lumières des bâtiments non résidentiels, inscrite dans la réglementation entrée en vigueur depuis juillet 2013.
- Il est utile de noter que la qualité de la nuit en valeur absolue reste cependant « **faible** » avec une valeur au mieux comprise entre 7 et 8 (Figure 41).
- La courbe sur le graphique suivant (Figure 42) extraite de la nuit du 4 au 5 mai 2016 montre cette **coupure aux environs de 1h** (indiqué par la flèche verte). On observe ensuite à nouveau une croissance des émissions lumineuses dès la plage 3h-5h pour le centre-ville de Hyères.

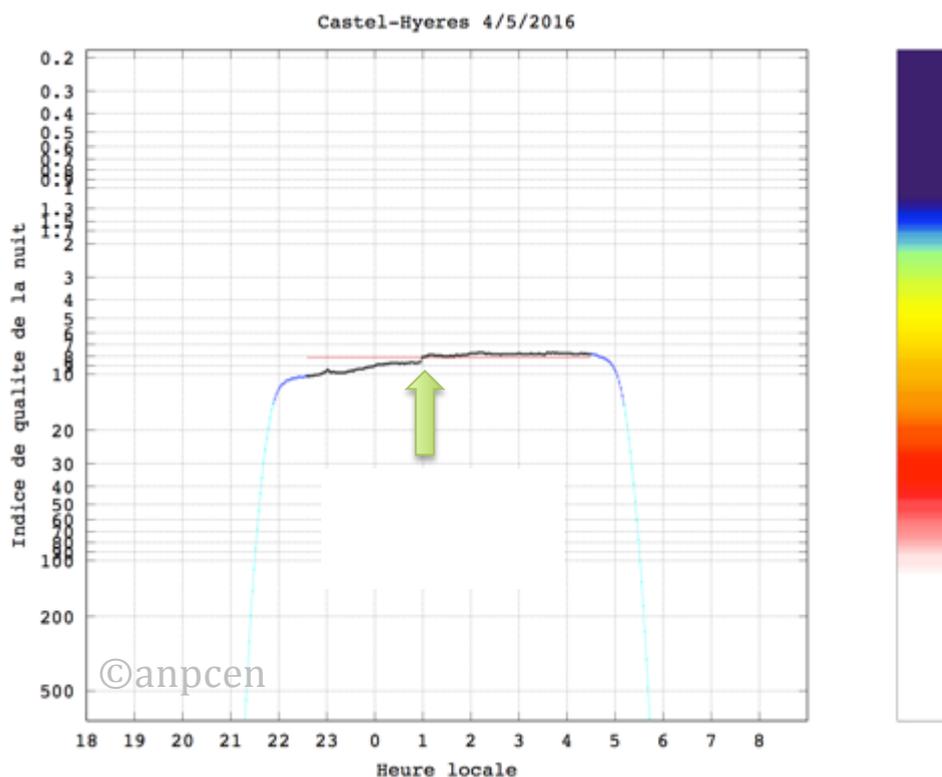


Figure 42 : Evolution de la qualité de la nuit¹³ à proximité du zénith pour le site du Castel St Claire à Hyères pendant la nuit du 4 au 5 mai 2016. La courbe d'évolution pendant la période de nuit noire est tracée en noire et celle en bleue correspond à la période de crépuscule.

- Pour les mesures effectuées sur l'île de Porquerolles : la même tendance générale se constate au niveau du Port (**19%**) et du village de Porquerolles (**23%**) bien que la contribution des éclairages privés à cette période de l'année sur l'île soit très faible (presque tous les commerces et restaurants sont fermés après 22h).
- Selon les informations obtenues par les services techniques de Hyères, une réduction de puissance lumineuse de 40% au cours de la nuit à Porquerolles a commencé à être installée sur les nouveaux luminaires comme ceux du chemin du Langoustier, ce qui représente une **baisse d'environ 10%** de l'émission lumineuse globale de l'éclairage public du village en cours de nuit.
- La baisse des émissions lumineuses observées sur l'île provient principalement de la baisse des émissions sur le continent.

La figure 43 ci-dessous représente un zoom du graphique précédent pour les sites de Porquerolles situés en zones non urbanisées.

- Il est intéressant de remarquer la décroissance plus importante pour le site du Langoustier, le plus proche du continent, qui bénéficie le plus de la diminution des émissions lumineuses du continent.
- Lors de conditions de ciel clair avec une bonne transparence de l'atmosphère, la qualité de la nuit à proximité du zénith devient « **bonne** » pour les sites de l'île situés au Sud (Oustaou et plaine de la Courtade) et à l'Est (Galéasson) avec une contribution de la luminance artificielle voisine de **33% au cœur de la nuit** entre 1h et 5h.

¹³ noter l'échelle différente non linéaire et inversée par rapport aux autres graphiques dans cette partie 6 de l'étude
2017 - Rapport de mission ANPCEN 2016

Evolution de la pollution lumineuse au cours de la nuit par ciel clair pour les sites de Porquerolles en zones naturelles

Période Basse saison

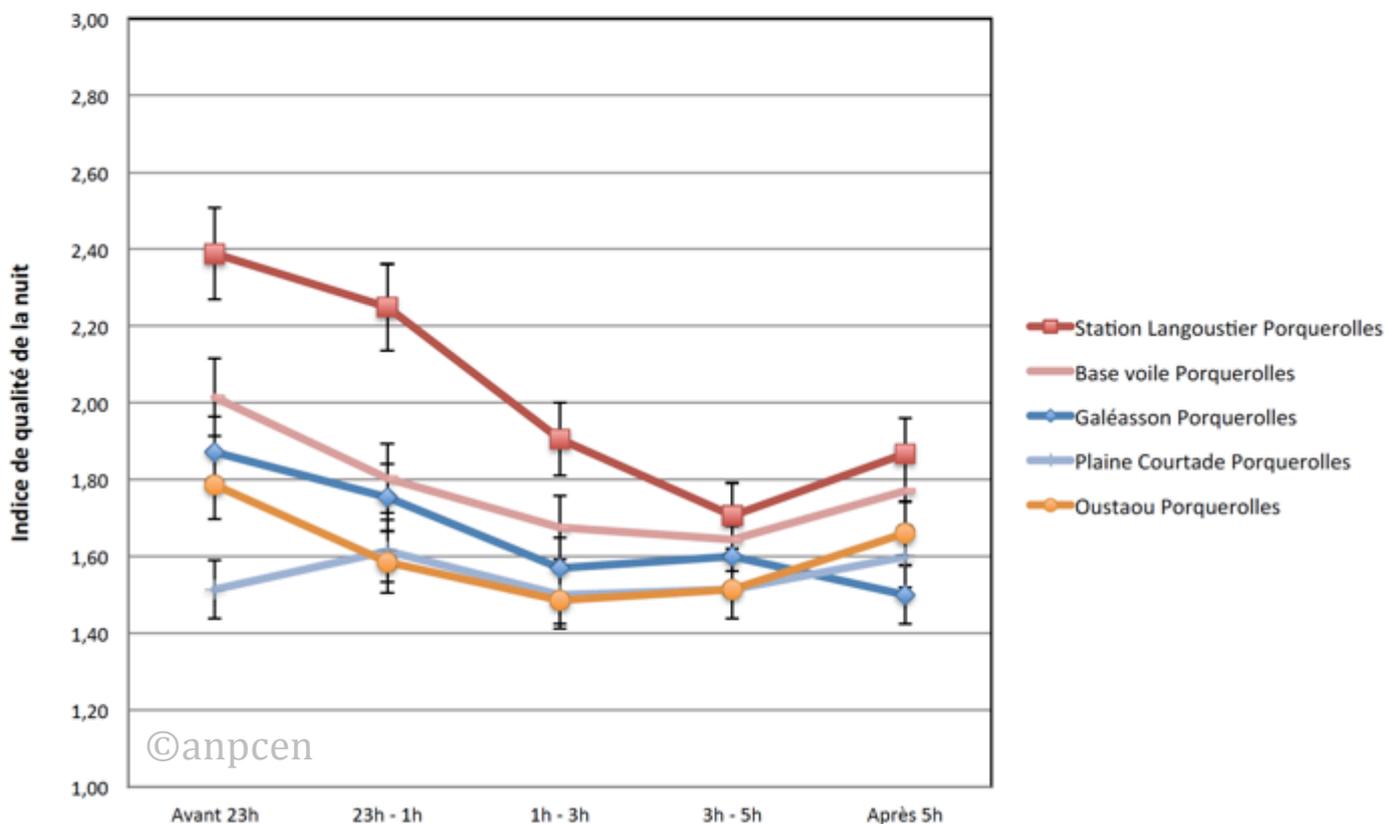


Figure 43 : Evolution de l'indice de qualité de la nuit suivant l'heure pour les sites de Porquerolles en zones naturelles en basse saison par ciel clair

- Les autres sites de l'île en zones non urbanisées à l'Ouest, à l'Est et sur la côte septentrionale ont une qualité de ciel « moyenne » à proximité du zénith en début de nuit, qui tend à devenir « bonne » au cœur de la nuit.
- Ces mesures de l'évolution des émissions lumineuses au cours de la nuit permettent de conclure à la fois que la contribution des éclairages privés sur la pollution lumineuse est non négligeable et que l'éclairage public reste bien le principal contributeur, à la fois sur l'île de Porquerolles et depuis le périmètre continental de la commune d'Hyères.

6.3.4 Basse-saison : Effet de la couverture nuageuse sur la pollution lumineuse

Les nuages renvoient vers le sol la lumière émise à tort vers le ciel ce qui tend à amplifier la luminosité ambiante perçue par les humains et la biodiversité. Pour des sites éloignés des sources lumineuses, les nuages masquent inversement la lumière naturelle émise par les étoiles.

- Les mesures effectuées en présence de couverture nuageuse représentent ici **plus de 40%** du temps de la période de mesures de basse saison.
- La luminance de l'environnement nocturne en est modifiée de manière importante.
- Ces conditions spécifiques devraient être mieux intégrées à la conception des installations et à leurs usages.

En effet, la figure 44 ci-dessous montre le résultat des mesures obtenues pour les différents sites prospectés dans ce cas de figure de couverture nuageuse partielle ou complète, toujours en

excluant les cas où la lune est présente qui amplifie encore la luminosité ambiante dans le cas d'une couverture nuageuse partielle.

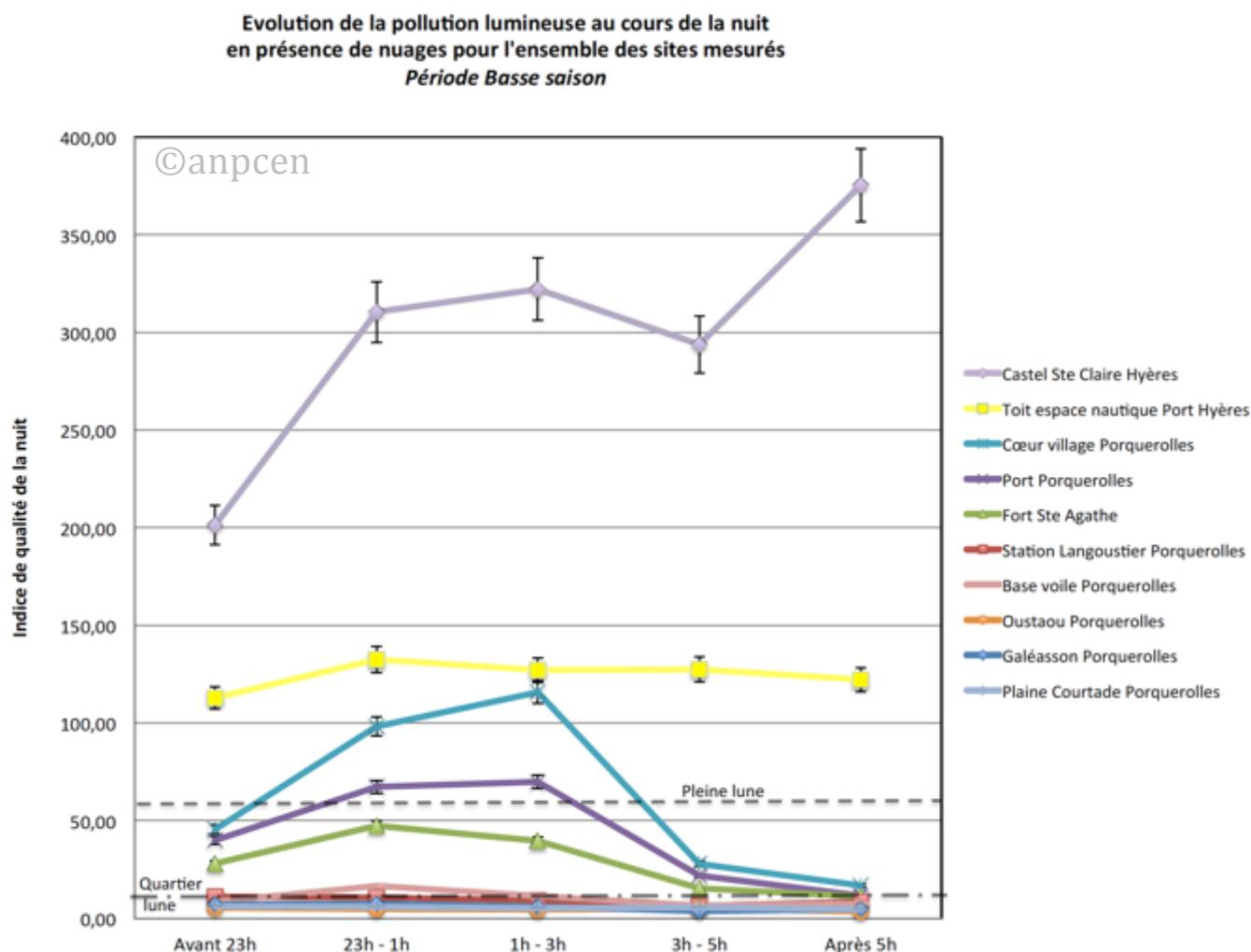


Figure 44 : Evolution de l'indice de qualité de la nuit suivant l'heure pour l'ensemble des sites mesurés en basse saison par ciel nuageux

- **Pour le site du centre-ville de Hyères** des niveaux de luminances relatifs toujours supérieurs à 200, et dépassant même la valeur de 350, peuvent être observés, à comparer à la valeur comprise entre 7 et 10 obtenue par ciel clair et présentée à la figure 41 dans la partie 6.3.3.
- Comme dans les graphiques précédents les niveaux de luminance maximaux produits par le premier quartier de lune et la pleine lune à cette époque de l'année (égaux respectivement à 9 et 60) ont été rapportés.
- On constate ainsi que la luminance artificielle **ambiante dépasse d'au moins un facteur 4 celle d'une pleine lune.**
- Les variations lumineuses liées au cycle lunaire sont **imperceptibles dans ces conditions.**
- **Pour les ports de Hyères ainsi que le village de Porquerolles**, il en est de même dans une moindre mesure avec des valeurs moyennes respectivement de 125, 70 et 100 qui correspondent également à une qualité de la nuit « **très mauvaise** ».
- **Pour les sites de Porquerolles en zones non urbanisées** dont l'évolution plus détaillée est reproduite dans le graphique ci-dessous (Figure 45), la qualité de la nuit est fortement diminuée avec des niveaux de luminances relatives au delà de 6 pour les sites de la côte septentrionale (Langoustier et Base voile) et au delà de 3.4 pour les sites les plus préservés de la côte Sud et Est (Oustaou, plaine de la Courtade et Galéasson). Ainsi, la qualité de la nuit

qu'on pouvait qualifier de « **moyenne** » par ciel clair sur la côte Nord, passe à un niveau « **faible** » en présence de nuages et celle de la côte Sud qui pouvait atteindre le niveau « **important** » est dégradée au niveau « **médiocre** ».

Evolution de la pollution lumineuse au cours de la nuit
en présence de nuages pour les sites de Porquerolles en zones naturelles
Période Basse saison

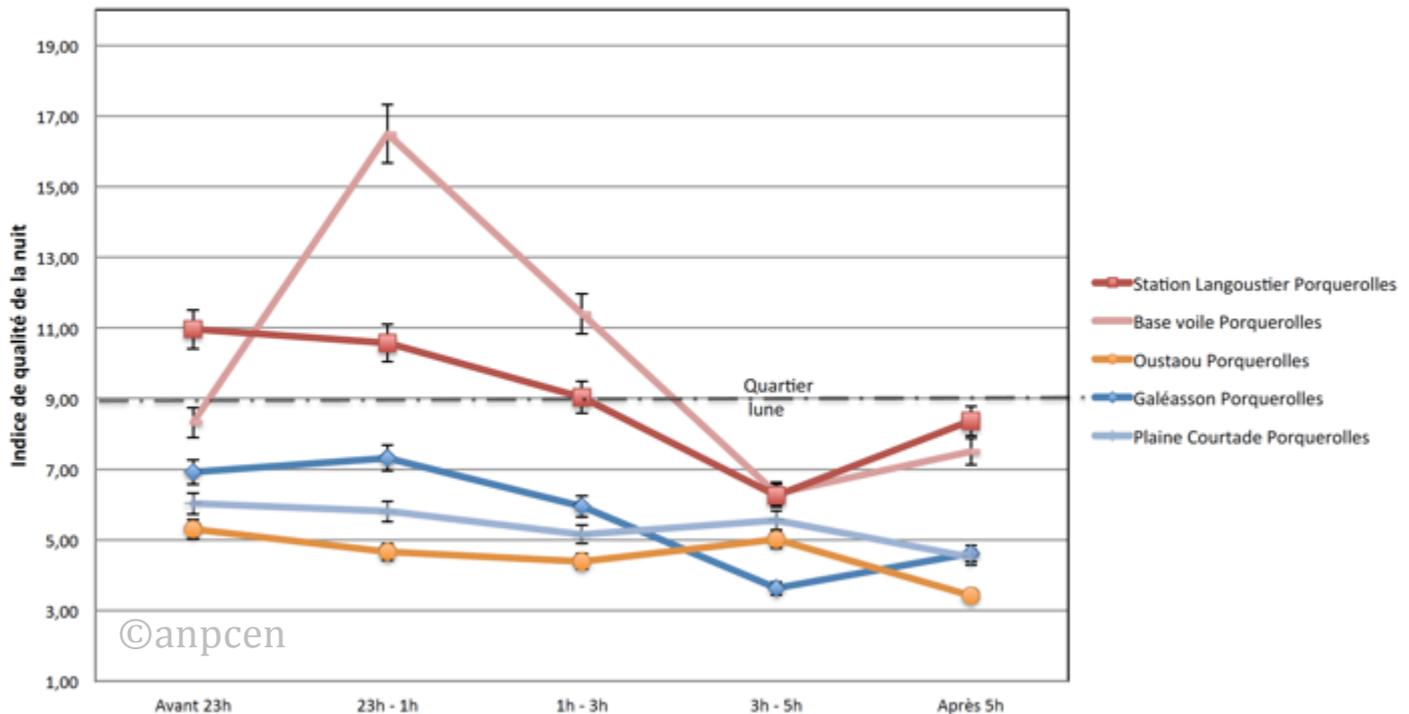


Figure 45 : Evolution de l'indice de qualité de la nuit suivant l'heure pour les sites de Porquerolles en zones naturelles en basse saison par ciel nuageux

La figure 46 suivante montre le facteur d'amplification de la pollution lumineuse en présence de nuages, pour chaque site. Il présente une forte variation, par la combinaison de plusieurs facteurs que sont l'évolution de la quantité de lumière envoyée vers le ciel selon l'heure de la nuit, l'importance de la couverture nuageuse (complète ou partielle) et la variation du type et de la hauteur des nuages.

Les mesures n'ont pas été prises en compte dans les résultats présentés dans cette partie, lorsque la présence de brouillard ou périodes de fortes humidité pouvaient conduire à la formation de buée sur la lame de protection des instruments lors de quelques débuts ou fins de nuit sur les sites marins du Galéasson, de la station du Langoustier et de l'Oustaou de Porquerolles.

- Cette forte variation est plus importante dans les zones urbanisées.
- Pour le **centre-ville de Hyères**, une **croissance continue du facteur d'amplification de 20 à 45 entre le début et la fin de la nuit** est observée, alors qu'a été mise en évidence précédemment une baisse des émissions de lumière en cœur de nuit. L'abaissement du plafond nuageux au cours de la nuit à cette période de l'année en est la principale raison.
- Pour les sites du **cœur du village de Porquerolles, du Fort Ste Agathe et du Port de Porquerolles**, l'amplification est très importante avec une valeur maximale atteinte en cœur de nuit **autour de 40 pour le village...** similaire à celle mesurée au centre-ville de Hyères. La quantité de lumière émise vers le ciel dans le village est donc très importante. L'augmentation du facteur d'amplification en cours de nuit est probablement liée à la forte contribution de la mise en lumière de l'église qui avait été constatée non éteinte après 1h du matin lors de la

mission ANPCEN en mars 2016. Cette hypothèse est confortée par le fait que le niveau de luminance mesuré diminue lorsqu'on s'éloigne de l'église Ste Anne.

Augmentation de la pollution lumineuse par la couverture nuageuse Période Basse saison

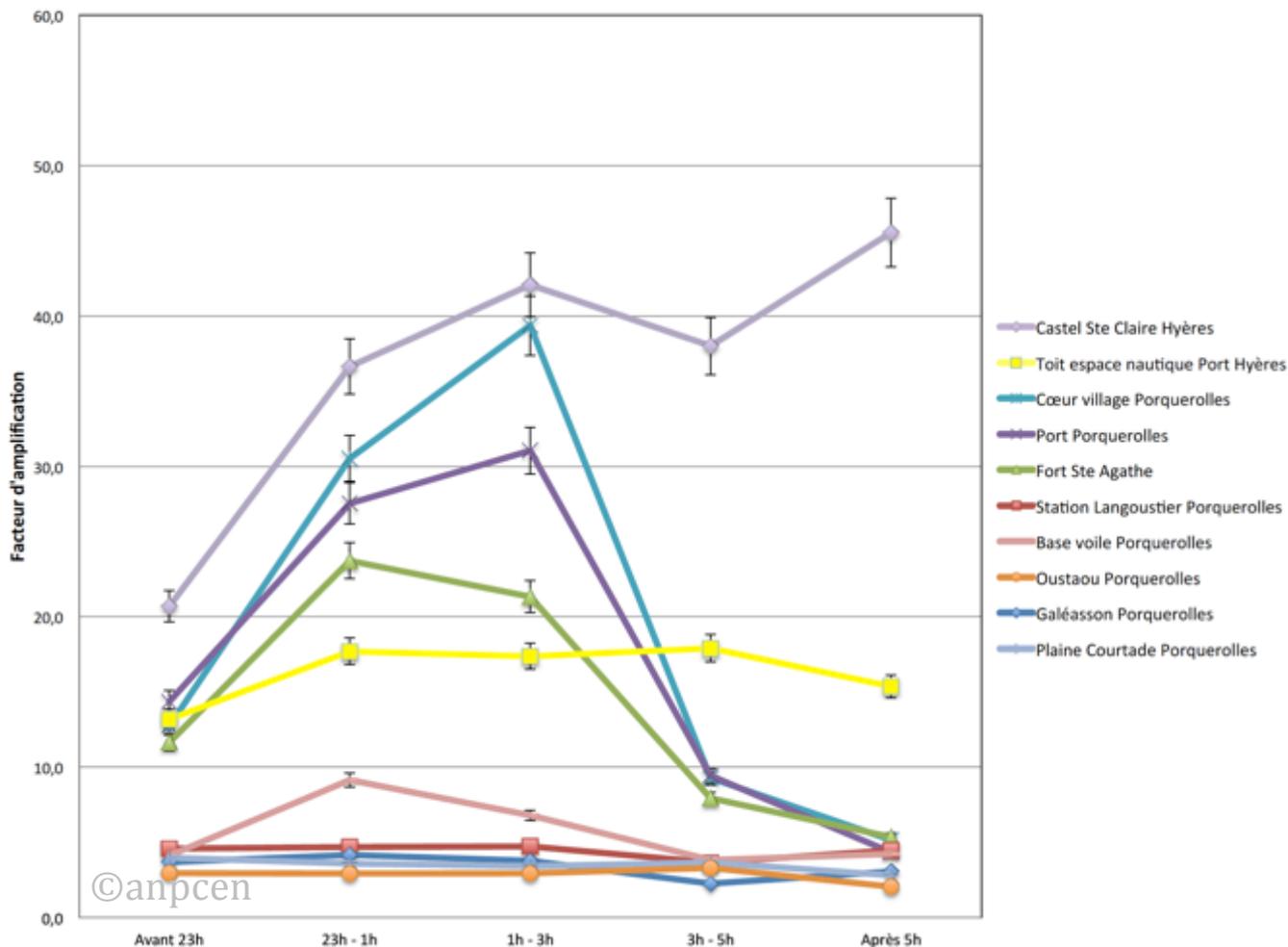


Figure 46 : Facteur d'amplification du niveau relatif de luminance mesuré en présence de couverture nuageuse suivant l'heure pour l'ensemble des sites mesurés en basse saison

- Les **sites du Langoustier et de la base voile de Porquerolles** présentent un facteur d'amplification entre 4 et 9 et sont donc très touchés par la pollution lumineuse lors de présence de couverture nuageuse.
- Les **autres sites de Porquerolles situés en zones non urbanisées** présentent quant à eux un **facteur d'amplification entre 2 et 4** avec un minimum pour l'Oustaou avec un facteur entre 2 et 3. La pollution lumineuse en présence de nuages impacte donc de façon importante ces sites les plus préservés de Porquerolles avec une qualité de la nuit qui devient « **médiocre** » durant ces périodes.
- On observe ainsi sur tous les sites étudiés une **amplification importante de la pollution lumineuse en présence de nuages**, qui démontre que les émissions lumineuses produites à distance sont à prendre en compte, même pour des sites éloignés, comme ici de plus de 15 km du continent.
- Ces conditions spécifiques représentant **40 % du temps**, et l'**amplification** ici démontrée, devraient être **mieux intégrées à la conception des installations et à leurs usages**. Il est nécessaire de supprimer, dès la conception et les usages de l'éclairage extérieur public et privé,

tout sur-éclairage puisque la couverture nuageuse reflète localement la quantité globale de lumière émise dans l'environnement

- La lumière et la pollution lumineuse sont perçues à longue distance de chacune des sources. Aussi, une même intercommunalité au minimum et au delà un département et une région, ou des unités comme les espaces protégés devraient veiller à **organiser une solidarité écologique entre territoires voisins, dans le domaine des nuisances et pollutions lumineuses.**
- La loi relative à la biodiversité de 2016 souligne le principe de solidarité écologique « qui appelle à prendre en compte, dans toute prise de décision publique ayant une incidence notable sur l'environnement des territoires concernés, les interactions des écosystèmes, des êtres vivants et des milieux naturels ou aménagés »
- Pour « prévenir, limiter, supprimer les nuisances lumineuses » comme l'exprime la loi, et préserver une très bonne qualité de la nuit, il est nécessaire **idéalement de mettre en place des mesures de réduction de la pollution lumineuse dans un rayon d'au moins 50 km.**

6.3.5 Haute-saison : Evolution de la pollution lumineuse

Chaque année, plus de 1 million de touristes visitent l'île de Porquerolles avec un pic d'affluence pendant la saison estivale. Dans ce paragraphe, les données prises en haute saison (juillet-août-septembre) sont comparées avec celles obtenues en basse-saison pour étudier les émissions lumineuses supplémentaires et leur conséquence sur les niveaux de pollution lumineuse observés. La plupart des restaurants à Porquerolles sont fermés en basse-saison alors qu'en haute-saison, des terrasses extérieures sont par exemple éclairées par des projecteurs. Les éclairages privés des navires au mouillage dans les zones naturelles au niveau des plages d'Argent et de la Courtade sont à prendre en compte également. Sur le continent, le Magic World qui est un parc d'attractions situé au Nord de l'isthme de Giens (à 9 km des côtes de Porquerolles), ouvert tous les soirs pendant les mois de juillet et août de 20h jusqu'à 2h du matin, engendre une source de lumière additionnelle en particulier.

Pour faciliter l'analyse de la pollution lumineuse en haute-saison, ne sont retenues ici que les mesures effectuées par ciel clair.

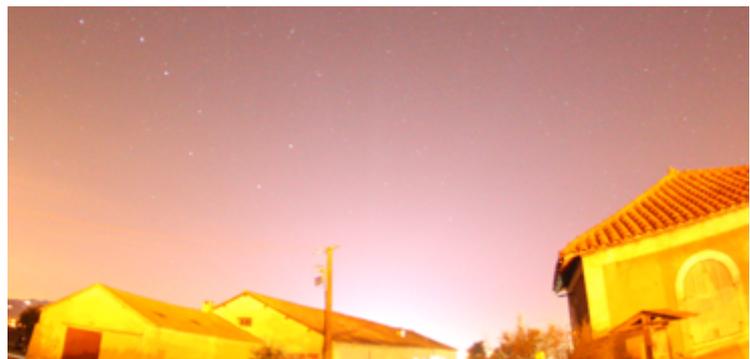


Figure 47 : Halo lumineux produit par le parc d'attraction du Magic World en août 2016 vers 0h. A gauche, vue depuis le site H3, carte page 9, de la plage des Salines (4km). A droite, vue depuis l'entrée des Salins des Pesquiers (2km) proche du site H6, carte page 9, de la presque-île de Giens.

Ce qui est mesuré est l'impact indirect des émissions de lumière supplémentaire dans l'atmosphère. Elles sont bien sûr plus importantes à proximité des sources. Elles peuvent aussi être atténuées par endroits en particulier par la végétation, plus importante en haute qu'en basse saison. Dans le cas de Porquerolles, l'évolution de la végétation entre basse et haute saison est négligeable car la plupart des arbres présents au niveau de la place d'Armes (principal contributeur de la pollution

lumineuse supplémentaire de l'île en haute-saison hors le port) ont des feuilles persistantes en hiver (voir les figures 13, 14 et 16 par exemple).

Evolution de la pollution lumineuse au cours de la nuit par ciel clair pour l'ensemble des sites mesurés Période Haute saison

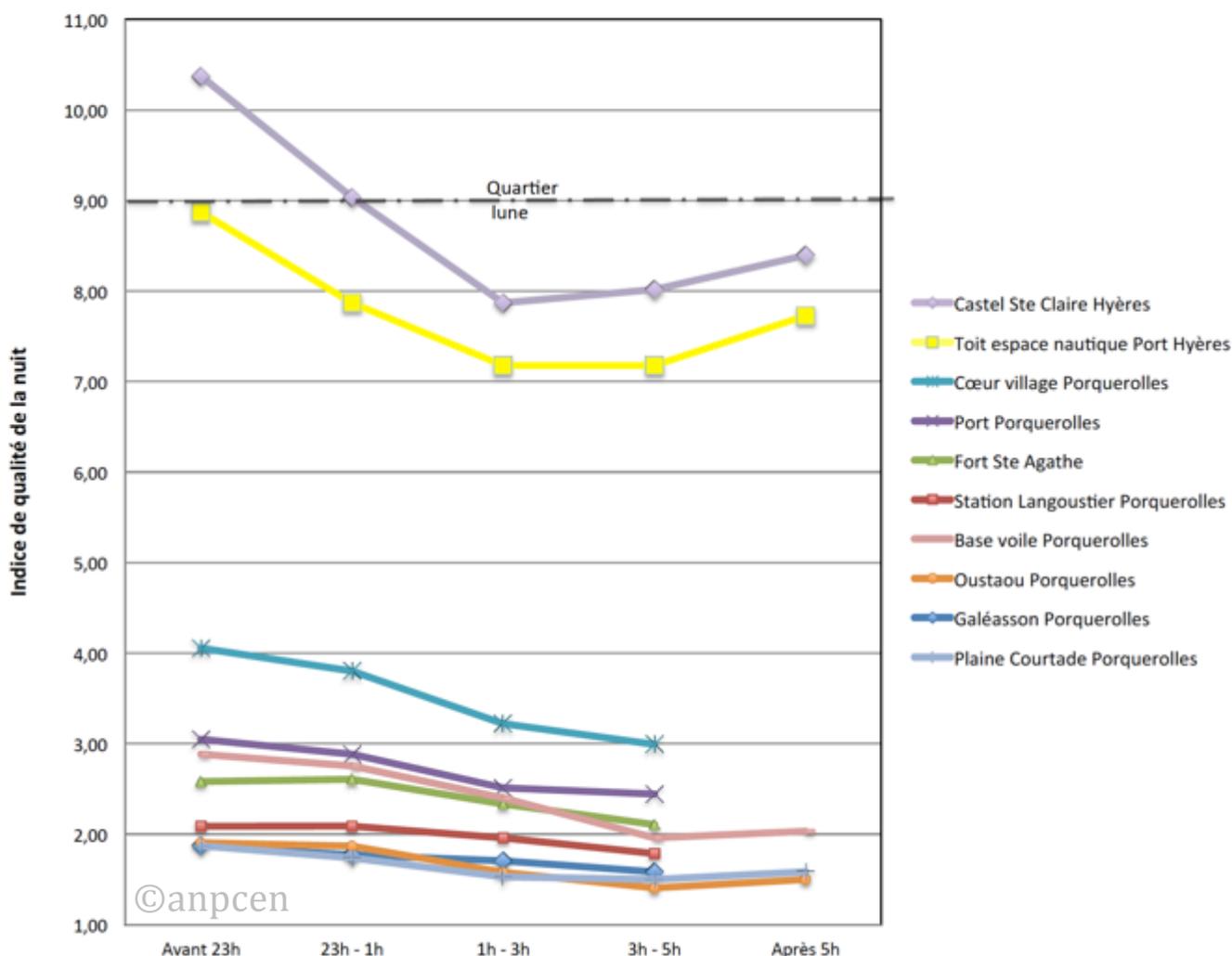


Figure 48 : Evolution de l'indice de qualité de la nuit suivant l'heure pour l'ensemble des sites mesurés en haute saison par ciel clair

Sur le continent

- Les niveaux relatifs de luminance sont plus importants sur le continent, pour les sites du port et du centre-ville de Hyères avec une augmentation respective de **5% et 7%** par rapport à la basse-saison entre le début de la nuit et 1h du matin. Il s'agit de l'impact indirect des émissions de lumière supplémentaire dans l'atmosphère.

A Porquerolles

- Sur l'île de Porquerolles, l'augmentation relative est plus importante respectivement de **18%** pour le port et le cœur du village de Porquerolles et de **31%** au Fort Ste Agathe. Cette dernière augmentation au niveau du Fort vient d'un dysfonctionnement de l'horloge responsable de la mise en lumière du Fort en été, constaté par l'ANPCEN, lors de la mission en août (mise en lumière visible sur nos photos prises depuis le port à 2h du matin dans la partie 5.2.2) et qui a été remis en ordre à la suite de la mission ANPCEN en août.
- Pour les sites de Porquerolles en zones non urbanisées, il n'y a pas de différences significatives entre basse et haute saison.

**Evolution de la pollution lumineuse au cours de la nuit par ciel clair
pour les sites de Porquerolles en zones naturelles**
Période Haute saison

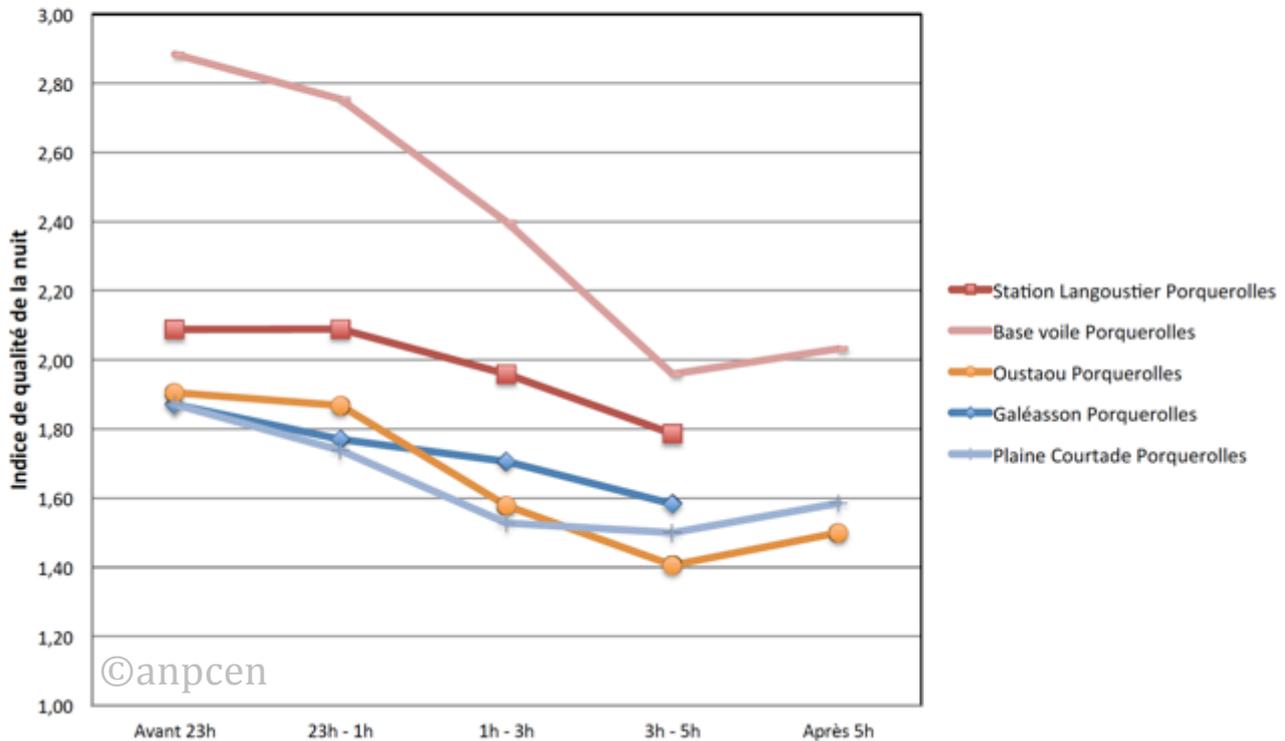


Figure 49 : Evolution de l'indice de qualité de la nuit suivant l'heure pour les sites de Porquerolles en zones non urbanisées, en haute saison par ciel clair

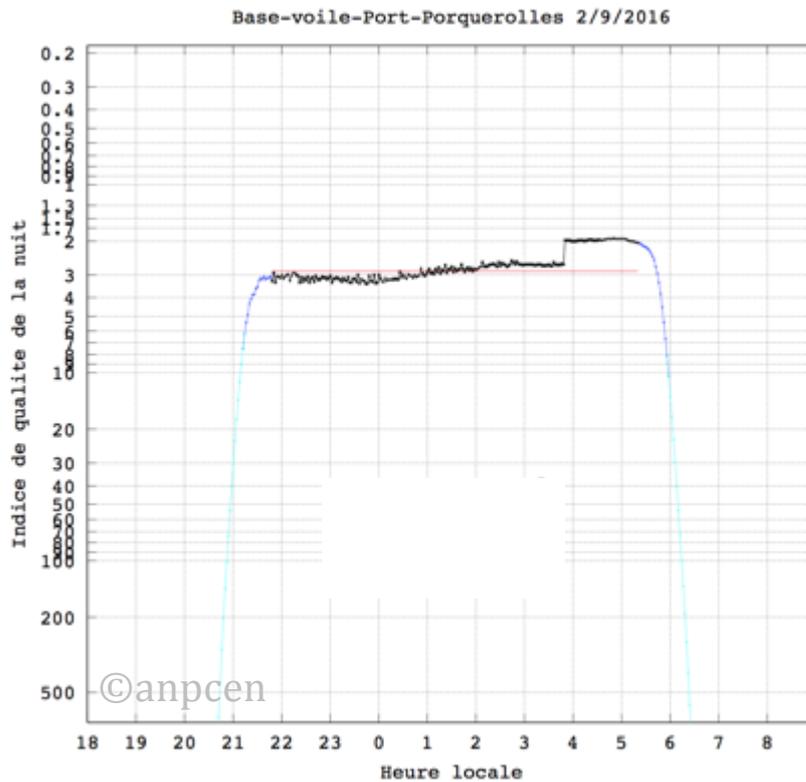


Figure 50 : Evolution de la qualité de la nuit à proximité du zénith pour la base voile de Porquerolles pendant la nuit du 2 au 3 septembre 2016. La courbe d'évolution pendant la période de nuit noire est tracée en noire et celle en bleu correspond à la période de crépuscule.

- Pour le cas particulier de la **base de voile**, le niveau de luminance mesuré, augmente de **43%** par rapport à la basse saison (cf. Figure 49). Il vient de l'augmentation des émissions de lumière du village et du port de Porquerolles en haute saison, mais aussi probablement des éclairages des terrains de tennis situés à 100 mètres de la base voile éclairés lors de leur utilisation, dont l'extinction ne semble pas systématique en fin d'activité, comme le montre la courbe d'évolution ci-dessous dans la nuit du 2 au 3 septembre 2016 où l'on constate une amélioration subite de la qualité de la nuit après 3h45 (cf. Figure 50).

6.3.6 Visibilité du cycle lunaire et perturbations de l'évolution naturelle de la luminosité ambiante lors des phases de crépuscule

L'ANPCEN a également analysé les mesures automatiques effectuées lors des phases de crépuscule, qui créent d'autres variations naturelles, et en particulier la luminance obtenue à la fin du crépuscule civil, nautique et astronomique¹⁴.

- L'analyse des données montrent que les habitants de Hyères vivent dans un crépuscule permanent avec un niveau de luminance mesuré au moment de la fin du crépuscule nautique qui est **93% plus élevé** que dans les sites les plus préservés de Porquerolles, comme l'Oustaou.
- Ce même phénomène reste perceptible, mais dans une moindre mesure, dans le centre du village de Porquerolles et au port de Porquerolles (avec un niveau respectivement **25% et 15%** plus élevé que la fin du crépuscule nautique dans un site préservé avec peu de pollution lumineuse).

Un crépuscule permanent tout au long de la nuit dans les zones urbanisées a des conséquences pour les humains par la perturbation du rythme circadien de leur horloge biologique synchronisée par une alternance de lumière solaire le jour et d'obscurité la nuit. La perturbation de l'horloge biologique par la lumière retarde par exemple la production d'hormones comme le cortisol ou comme la mélatonine nécessaire à l'endormissement et agit donc sur la quantité et qualité du sommeil. Bien d'autres effets sur des fonctions physiologiques nécessaires à la santé, actives la nuit, ont été documentés par nombre d'études scientifiques.

Des perturbations sont observées de même pour nombre d'espèces nocturnes alors que beaucoup d'espèces débutent leur activité de nourrissage ou leurs déplacements dès un certain niveau d'obscurité pendant le crépuscule (chiroptères) ou inversement à l'aube (chant précoce des oiseaux).

L'étude publiée par l'ANPCEN avec la Mission Economie de la Biodiversité du Groupe Caisse des Dépôts « Éclairage du XXIème siècle et biodiversité – Pour une meilleure prise en compte des externalités de l'éclairage extérieur sur notre environnement » référence par groupes d'espèces de nombreuses études scientifiques montrant les différents effets de la lumière sur le vivant. L'étude rappelle que de nombreux processus biologiques chez les êtres-vivants sont synchronisés par cette variation régulière de la luminosité naturelle. D'une manière générale, elle rappelle aussi ce que provoque l'accroissement considérable de lumière la nuit, alors qu'environ 30 % des vertébrés et plus de 60 % des invertébrés sont nocturnes, faisant de la lumière artificielle nocturne une pression qui s'ajoute à bien d'autres s'exerçant déjà sur la biodiversité, les milieux et les paysages.

Dans les paragraphes précédents, il a été montré que les variations naturelles de luminosité liées au cycle lunaire deviennent imperceptibles dans les zones urbanisées importantes, et même plus

¹⁴ Correspondant au soleil respectivement à 6°, 12° et 18° sous l'horizon

petites comme pour le village de Porquerolles, en particulier lors des nuits avec présence de nuages, ces derniers diffusant et amplifiant le halo de pollution lumineuse.

Ainsi, pour permettre un meilleur ajustement des horloges biologiques du vivant au cycle de lumière solaire et lunaire, il est indispensable de mieux ajuster les puissances d'éclairage extérieur afin de limiter les différents impacts de la pollution lumineuse.

6.4 Analyse effectuée des mesures manuelles et des photos nocturnes

Mesures de luminance

L'objectif est de quantifier la luminosité ambiante présente sur l'île en différents points selon l'échantillonnage précisé dans la partie 4. Pour chaque site la luminance a été mesurée dans toutes les directions possibles (ciel et environnement terrestre) afin de définir une valeur moyenne de qualité de la nuit.

En effet, l'analyse demeure limitée lorsque n'est considérée qu'une mesure de luminance au zénith¹⁵. La réalité pour les humains et la biodiversité se mesure différemment. Ainsi l'analyse multidimensionnelle¹⁶ du halo développée par l'ANPCEN à partir de ses mesures sur le terrain permet de mieux traduire la perception de la pollution lumineuse depuis le sol, et ainsi mieux approcher les impacts réels pour tout être vivant sur la surface terrestre ou en milieu aquatique, et d'identifier et analyser en détail l'origine et la contribution des sources d'éclairages extérieurs pour le site d'étude prospecté.

Prises de vues nocturnes

Les prises de vue photographiques nocturnes calibrées photométriquement et effectuées en parallèle des mesures manuelles de luminance permettent de définir plus finement l'extension spatiale des halos lumineux.

6.4.1 Basse-saison : Analyse des photos nocturnes

L'ANPCEN présente dans cette partie quelques uns des sites principaux étudiés sur l'île de Porquerolles dans la nuit entre 22h et 2h du matin, en mars. Le temps de pose des photos est identique permettant une comparaison directe de l'importance des halos visibles sur chaque panorama obtenu.

La situation des points figure page 9.

¹⁵ C'est la base limitée actuellement figurant dans certains appels d'offres ou pour obtenir l'appellation de Réserve Internationale de Ciel Etoilé (RICE).

¹⁶ L'analyse des halos pour chaque site est effectuée selon l'étendue (azimut et hauteur) et selon son évolution temporelle (saisons et heures de la nuit)



la Galère (P1, cf. carte page 9)



Plaine Notre Dame (P2)



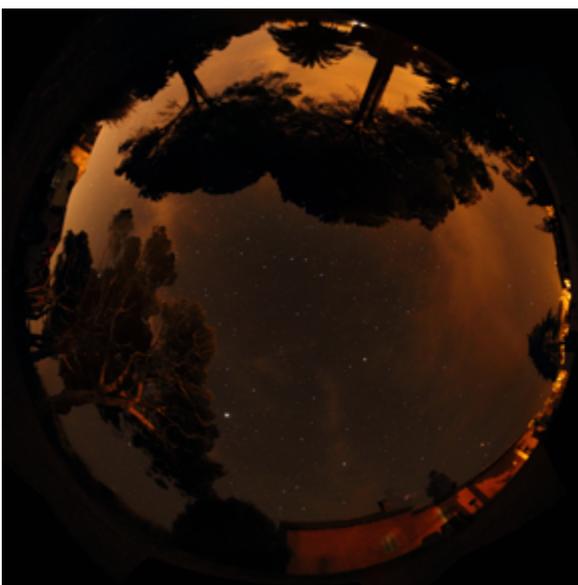
la Pointe des Mèdes (P3)



Fort de l'Alycastre (P4)



Plage d'Argent (P6)



Domaine Perzinsky (P19)

Figure 51 : Panoramas ANPCEN© réalisés pour différents sites dans les zones non urbanisées de Porquerolles en basse-saison

En combinant les mesures faites et les photos panoramiques réalisées en parallèle, l'ANPCEN calcule le niveau de luminance relatif pour un ensemble de directions. L'ANPCEN exprime un indice

global moyen de la qualité de la nuit prenant en compte la surface visible du ciel associée à chacune des directions considérées.

Résultats obtenus pour les principaux sites de l'île de Porquerolles :

P1		la Galère							22 h	Indice moyen de la qualité de la nuit entre 25° et 90° au-dessus de l'horizon
az	h	0	45	90	135	180	225	270	315	
90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	2,77
65	2,15	1,93	1,90	1,89	2,00	2,35	2,82	2,79		
45	2,76	2,16	2,02	2,13	2,11	2,93	5,21	4,69		
25	4,59	3,94	2,40	2,29	2,45	3,24	6,19	10,18		

©anpcen

P2		Plaine Notre Dame							22.5 h	Indice moyen de la qualité de la nuit entre 25° et 90° au-dessus de l'horizon
az	h	0	45	90	135	180	225	270	315	
90	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	2,22
65	2,09	1,90	1,83	1,84	1,92	2,15	2,34	2,27		
45	2,73	2,88	1,95	2,01	1,89	2,62	3,30	3,19		
25	4,22	3,11	2,27	1,87	1,93	2,58	4,34	5,49		

©anpcen

P3		la Pointe des Mèdes							23 h	Indice moyen de la qualité de la nuit entre 25° et 90° au-dessus de l'horizon
az	h	0	45	90	135	180	225	270	315	
90	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	2,87
65	2,24	2,01	1,93	2,00	2,11	2,27	2,55	2,59		
45	3,11	2,64	2,28	2,33	2,18	2,71	4,00	4,11		
25	5,10	4,57	3,18	2,84	2,42	3,41	6,47	8,96		

©anpcen

P4		Fort de l'Alycastre							23.5 h	Indice moyen de la qualité de la nuit entre 25° et 90° au-dessus de l'horizon
az	h	0	45	90	135	180	225	270	315	
90	1,87	1,87	1,87	1,87	1,87	1,87	1,87	1,87	1,87	2,37
65	2,19	2,04	2,02	2,11	2,15	2,16	2,21	2,20		
45	2,84	3,74	2,72	2,26	2,27	2,55	3,46	3,23		
25			3,05	2,43	2,51	3,18	5,57			

©anpcen

P5		les Gorges du Loup							0 h	Indice moyen de la qualité de la nuit entre 25° et 90° au-dessus de l'horizon
az	h	0	45	90	135	180	225	270	315	
90	2,55	2,55	2,55	2,55	2,55	2,55	2,55	2,55	2,55	3,07
65	3,18	2,82	2,20	2,19	2,38	2,43	3,24	3,56		
45	5,64	5,21	3,09	2,47	2,15	2,39	3,61	5,62		
25			3,79	3,67	1,81	2,66	4,19	9,63		

©anpcen

P6		Plage d'Argent							0.5 h	Indice moyen de la qualité de la nuit entre 25° et 90° au-dessus de l'horizon
az	h	0	45	90	135	180	225	270	315	
90	3,04	3,04	3,04	3,04	3,04	3,04	3,04	3,04	3,04	3,43
65	3,80	3,50	3,30	3,10	3,03	2,86	3,10	3,23		
45	5,65	4,22	2,92	3,06	3,09	3,02	4,72	6,28		
25	6,87	4,62	2,96	3,16	3,27	2,60	3,55	11,20		

©anpcen

P19		Domaine de Perzinsky							2 h	Indice moyen de la qualité de la nuit entre 25° et 90° au-dessus de l'horizon
az	h	0	45	90	135	180	225	270	315	
90	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	3,54
65	2,70	2,55	2,28	2,26	2,24	2,55	2,47	2,61		
45			3,26	2,39	2,38	2,52	3,19	4,04		
25	9,76	6,35	4,12	2,72	2,68	2,52	9,73	11,31		

©anpcen

Table 6 : Mesures de l'indice de qualité de la nuit dans différentes directions, et calcul de l'indice global moyen de qualité de la nuit pour les principaux sites de l'île de Porquerolles en basse saison

Il a été vérifié pour les différents sites que les niveaux de luminances mesurées au zénith (correspondant à $h=90^\circ$) manuellement pendant cette nuit sont cohérents avec les mesures automatiques acquises simultanément à proximité.

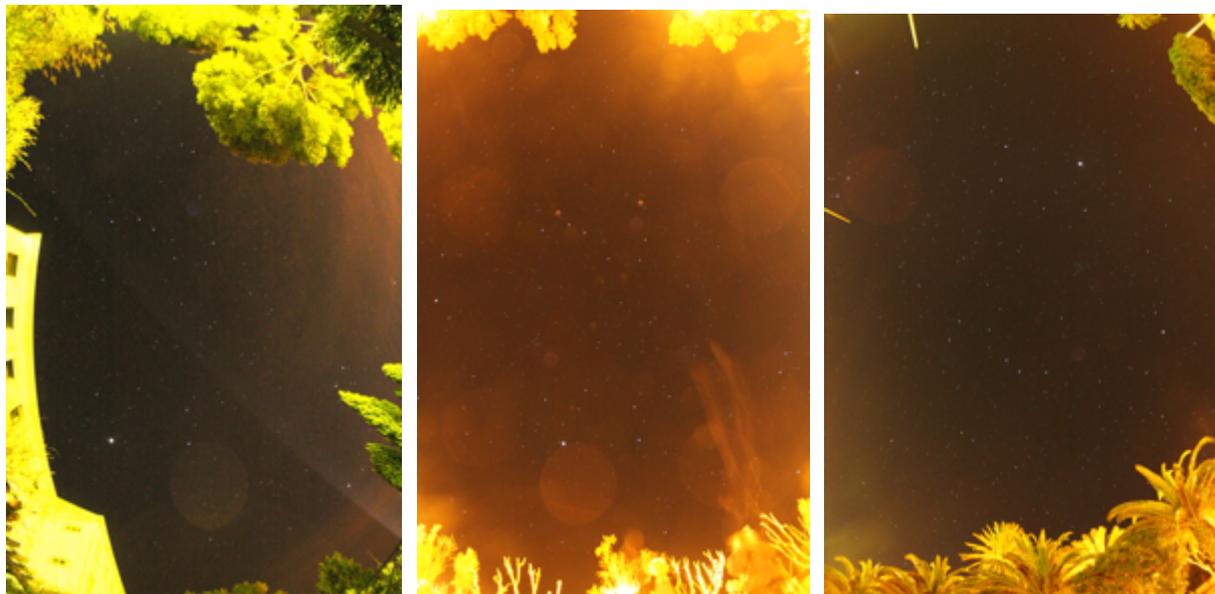
- Le niveau de luminance relatif (par rapport au niveau de luminance en l'absence de pollution lumineuse) est généralement **plus important, d'un facteur 2 à 5**, pour les mesures effectuées à plus basse hauteur, correspondant aux halos de pollution lumineuse de plus en plus visibles à proximité de l'horizon, en l'absence d'obstacles les masquant. Certains sites comme le Fort de l'Alycastre (site P4) ou la plaine Notre-Dame (site P2) présentent ainsi un meilleur indice global de la qualité de la nuit car le bâtiment dans le premier cas, ou bien les oliviers dans le deuxième cas, masquent une partie de l'horizon d'observation où la pollution lumineuse est la plus présente.
- Dans tous les cas, le niveau de luminance relatif, traduit par l'indice de qualité globale de la nuit, est augmenté **de 30% à 75%** (ce qui exprime une qualité diminuée d'autant) suivant les sites, par rapport à une qualité de la nuit qui n'est estimée qu'au zénith¹⁷, rendant alors trop partiellement compte de la réalité de la pollution lumineuse. Cette estimation globale de la qualité de la nuit pour un site permet en revanche de qualifier non seulement la qualité du ciel étoilé, mais aussi de tenir compte de l'importance des halos visibles à proximité de l'horizon. De plus, la prise en compte simultanée des spécificités de l'environnement terrestre à proximité du site contribue également à mieux rendre compte de la perception de la luminosité artificielle ambiante qui peut être atténuée en partie par des effets de masquage par le bâti ou la végétation environnante.
- Pour le site de la Pointe des Mèdes (P3), la mer est éclairée par la pollution lumineuse issue des sources de lumière du continent avec un niveau moyen de luminance relatif de 9,4 dans la direction Nord-Ouest, ce qui donne un éclairage moyen à la surface de la mer de 0,017 lux équivalent à l'éclairage produit sur une surface horizontale par un premier quartier de lune. Cet éclairage qui peut a priori paraître faible est néanmoins artificiel, aux caractéristiques physiques perturbantes pour la biodiversité et permanent toutes les nuits alors que le cycle naturel de la lune se caractérise par une variation d'éclairage importante au cours d'une lunaison, lorsqu'elle est visible¹⁸.
- On observe le même phénomène sur la plage d'Argent (site P6) avec un niveau moyen de luminance relatif de la mer de 10,4 en direction du Nord, ce qui donne un éclairage moyen à la surface de la mer de 0,019 lux.

Nous présentons également des photographies grand-angle pointant en direction du zénith¹⁹ pour des sites situés dans les zones urbanisées du village et du port de Porquerolles ainsi qu'un exemple obtenu au centre-ville de Hyères, pour comparaison. La situation des points figure page 9.

¹⁷ C'est la base limitée actuellement dans certains appels d'offres ou pour l'appellation Réserve Internationale de Ciel Etoilé (RICE)

¹⁸ Un premier quartier n'est visible que pendant les premières heures de la nuit

¹⁹ La présence de lumière directe provenant des luminaires rend plus difficile la réalisation de panoramas comme présentés précédemment à cause de l'apparition de réflexions parasites visibles déjà sur certaines photos comme celle de la Place d'Armes



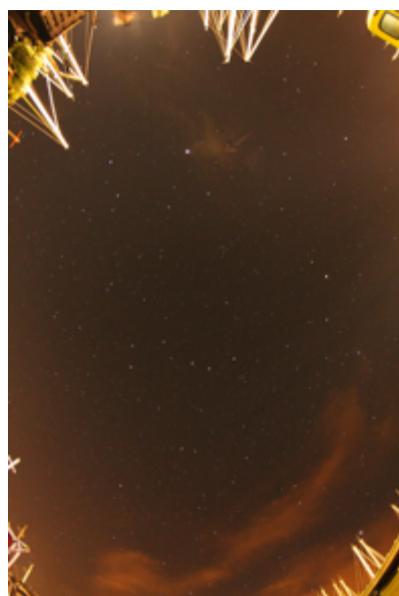
Entrée de l'IGESA (P8)

Place d'Armes (P10)

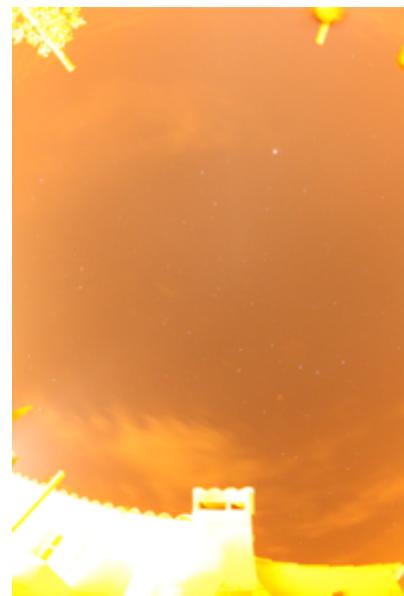
Place du Quai des Pêcheurs (P12)



Quai du Port proche de la Grue (P14)



Capitainerie du Port (P16)



Centre-ville de Hyères (H9)

Figure 52 : Photographies nocturnes pointant en direction du zénith sur le périmètre des zones urbanisées



Figure 53 : Paysage nocturne visible depuis le site P5, carte page 9, au Sud de l'île en basse saison : la voie lactée d'hiver est perceptible à gauche au-dessus de la constellation d'Orion. Mais il y a aussi clairement un halo lumineux visible jusqu'à 30° de hauteur dans la direction Ouest Nord-Ouest provenant de Toulon et Hyères.

6.4.2 Haute-saison : Analyse des photos nocturnes

L'ANPCEN présente dans cette partie quelques uns des sites principaux étudiés sur l'île de Porquerolles de nuit en août entre 23h et 3h en suivant la même méthodologie que précédemment. Par rapport à la nuit en mars, des passages de nuages sur l'île jusqu'à minuit ont conduit à une augmentation des halos lumineux visibles sur la partie Est de l'île (sites P2 et P3) par rapport aux photos prises en basse-saison.

P1 la Galère		23 h								Indice moyen de la qualité de la nuit entre 25° et 90° au-dessus de l'horizon
az	h	0	45	90	135	180	225	270	315	
90		2,29	2,29	2,29	2,29	2,29	2,29	2,29	2,29	2,77
65		2,37	2,96	2,76	2,82	2,97	2,33	2,49	2,19	
45		3,84	3,93	3,08	2,87	3,00	2,84	2,91	3,00	
25		3,73	5,36	4,13	3,04	2,97	3,48	3,64	5,63	

©anpcen

P2 Plaine Notre Dame		23.5 h								Indice moyen de la qualité de la nuit entre 25° et 90° au-dessus de l'horizon
az	h	0	45	90	135	180	225	270	315	
90		2,99	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99	4,86
65		3,63	3,43	3,72	3,39	3,38	2,96	3,08	3,72	
45		5,38	4,08	3,37	2,96	3,54	3,28	3,95	9,56	
25		13,76			3,11	4,09			14,05	

©anpcen

P3 la Pointe des Mèdes		0 h								Indice moyen de la qualité de la nuit entre 25° et 90° au-dessus de l'horizon
az	h	0	45	90	135	180	225	270	315	
90		2,65	2,65	2,65	2,65	2,65	2,65	2,65	2,65	3,80
65		3,28	3,12	3,80	3,02	2,97	2,89	3,10	3,17	
45		4,88	4,65	5,39	2,66	3,40	3,52	4,07	4,89	
25		6,38	8,18	3,67	2,86	3,54	4,87	10,20	11,66	

©anpcen

P5 les Gorges du Loup		1.2 h								Indice moyen de la qualité de la nuit entre 25° et 90° au-dessus de l'horizon
az	h	0	45	90	135	180	225	270	315	
90		2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,55
65		1,97	2,41	1,77	1,78	1,78	2,34	2,36	1,97	
45		3,47	3,16	1,91	1,83	2,18	2,38	2,66	3,60	
25		5,57	4,37	3,41	3,09	2,54	3,52	4,22	6,56	

©anpcen

P8 Entrée de l'IGESA		0.9 h								Indice moyen de la qualité de la nuit entre 25° et 90° au-dessus de l'horizon
az	h	0	45	90	135	180	225	270	315	
90		4,22	4,22	4,22	4,22	4,22	4,22	4,22	4,22	8,55
65		4,83	4,69	3,83	4,71	4,43	4,57	5,36	5,29	
45		6,81	5,06	4,11	5,21	4,91	4,85		7,31	
25		24,19	6,56	27,95	28,33	5,53				

©anpcen

P15 Digue du Port de Porquerolles		1.9 h								Indice moyen de la qualité de la nuit entre 25° et 90° au-dessus de l'horizon
az	h	0	45	90	135	180	225	270	315	
90		3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,55
65		3,40			3,77	3,66	3,79		3,28	
45		3,52	3,85	4,00	4,49	4,01	3,78	3,63	3,93	
25		4,26	4,33	6,44	6,57	4,40	4,36	4,65	6,04	

©anpcen

Table 7 : Mesures de l'indice de qualité de la nuit dans différentes directions et calcul de l'indice global moyen de qualité de la nuit pour les principaux sites de l'île de Porquerolles en haute-saison



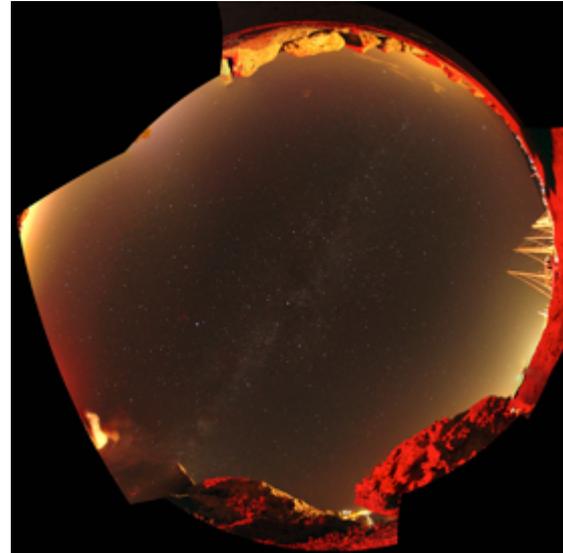
La Galère (P1, cf. carte p.9)



La Pointe des Mèdes (P3)



Les Gorges du Loup (P5)



Port de Porquerolles (P15)

Figure 54 : Panoramas ANPCEN© réalisés pour différents sites dans les zones non urbanisées de Porquerolles en haute-saison

La situation des points figure page 9.

L'ensemble de l'analyse des mesures manuelles dont une partie seulement a été présentée pour ne pas alourdir ce rapport a permis de vérifier a posteriori que la cartographie de la pollution lumineuse présentée dans la partie suivante prend correctement en compte l'étendue spatiale des halos lumineux.

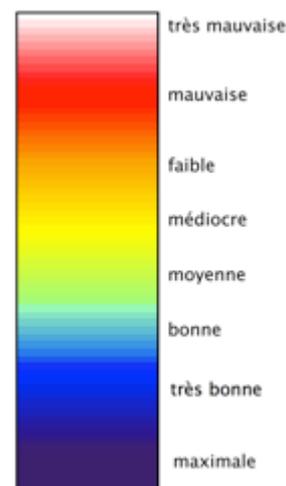
- A noter : sur le site des Gorges du Loup (site P5), le halo lumineux visible sur l'horizon Sud-Est (en bas à droite de la photo) correspond au passage d'un ferry au large de Porquerolles.
- Sur les sites de mouillage observés en août (sites P3b, P3c et P4b - carte page 9), les niveaux d'éclaircements produits à la surface de la mer par les feux de mouillages sont importants jusqu'à plus de 0,2 lux, ce qui correspond à l'éclaircissement produit par une pleine lune en permanence.

7 Cartographie réalisée de la qualité de la nuit aux deux saisons

A partir de l'état des lieux effectué dans la partie 5 et des mesures automatiques et manuelles traitées et analysées dans la partie 6, l'ANPCEN a réalisé une cartographie de la qualité de la nuit pour le périmètre de l'île de Porquerolles, en basse et haute saison. Cette cartographie intègre :

- l'impact direct de la lumière émise par les différentes sources d'éclairage public et privé en-dessous de l'horizontale,
- l'impact indirect de la lumière directement émise au-dessus de l'horizontale par ses sources se propageant dans l'atmosphère à distance,
- l'impact indirect de la lumière réfléchiée sur le sol et les façades,
- les effets de masquage par le relief et le bâti.

Les différentes caractéristiques des points lumineux d'éclairage extérieurs que sont la puissance lumineuse émise, le profil d'émission lumineuse (en hauteur et en azimuth) incluant la lumière directement émise au-dessus de l'horizontale (caractérisée par le paramètre ULOR en position d'installation), la distribution spectrale des sources lumineuses et la hauteur des mâts sont pris en compte dans le modèle ANPCEN.



La contribution des différentes sources lumineuses présentes sur le continent est également intégrée avec des données partielles de la ville d'Hyères pour son périmètre situé sur le continent, complétées par l'utilisation de différentes bases de données ANPCEN, ainsi que par l'analyse d'images satellitaires.

Les cartes présentées dans les sections suivantes représentent l'indice global de qualité de la nuit et de l'environnement nocturne en début de nuit, intégrée dans toutes les directions du zénith jusqu'à proximité de l'horizon, avant toute modulation d'usages des émissions lumineuses (suite à des réductions de puissance ou des extinctions par exemple à partir d'une certaine heure) et exprimée selon l'échelle de gradation de la qualité de la nuit de la cartographie-Anpcen® ci-dessus.

Les cartes sont réalisées pour des conditions météorologiques sans couverture nuageuse avec une bonne transparence de l'atmosphère (correspondant à une visibilité météorologique de 46 km). La résolution spatiale des cartes présentées est de 2 mètres.

7.1 Basse-saison : Cartographie de la qualité de la nuit de l'île de Porquerolles sans la contribution des sources du continent

L'ANPCEN présente la carte de qualité de nuit intégrant toutes les sources d'éclairage présentes sur l'île de Porquerolles (village+port). Elle exclue ici toute autre source lumineuse présente sur le continent, dont une partie de la lumière se diffuse dans l'atmosphère jusqu'à l'île.

En rapprochant cette cartographie des mesures de qualité de la nuit effectuées sur l'île, la contribution des différentes sources d'éclairage de la zone urbanisée de Porquerolles incluant le port est distinguée.

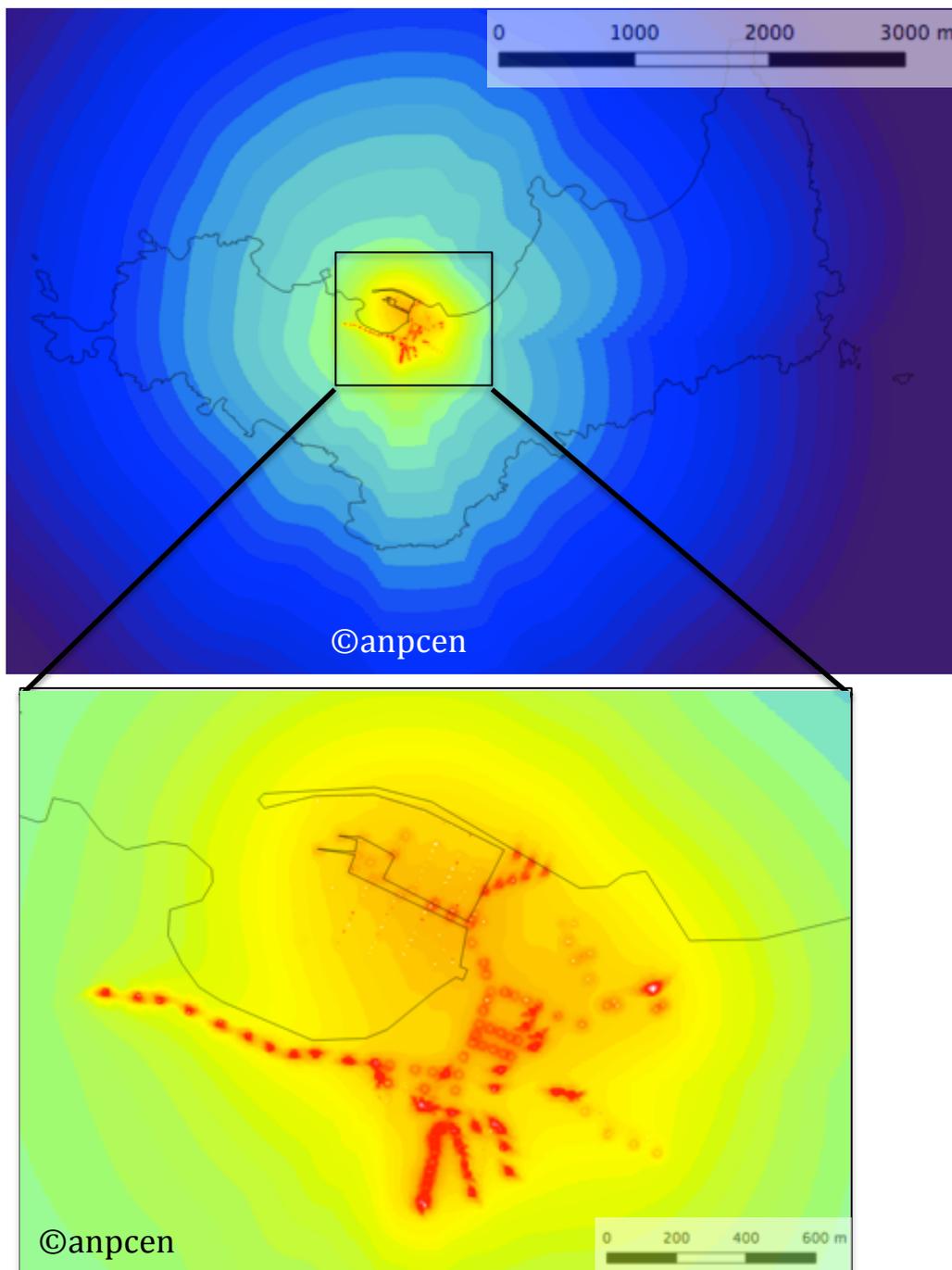


Figure 55 : Carte de la qualité de la nuit ANPCEN© de l'île en basse saison prenant en compte les émissions lumineuses provenant seulement des sources sur l'île et zoom sur le village de Porquerolles

Un zoom sur le village de Porquerolles montre les différents points lumineux d'éclairage extérieur, leur contribution directe à proximité, ainsi que le halo lumineux global résultant de la diffusion de la lumière perdue directement au dessus de l'horizontale ou après réflexion sur le sol et les façades de bâtiments.

- Le halo lumineux produit par le village et le port à courte et à grande distance n'est pas isotrope, ce qui est la conséquence à la fois des émissions de lumière provenant des luminaires dit « fonctionnels » avec un maximum d'émissions dans certaines directions, et aussi des effets de masquage par le relief environnant le village, en particulier par les collines à l'Ouest et à l'Est.
- Les éclairages du port contribuent de **25 à 30%** de la pollution lumineuse dans le village de Porquerolles.

- Le village et le Port de Porquerolles contribuent à expliquer plus de **60%** du niveau de pollution lumineuse mesurée à proximité immédiate de la sortie du village (sites P0 et P19),
- Leurs contributions ne dépassent pas **25%** pour les sites plus éloignés sur l'île démontrant **l'importance de prendre en compte les émissions lumineuses provenant du continent.**

L'ANPCEN présente ci-dessous, à titre d'exemple, un tableau récapitulatif de ses principales mesures effectuées au zénith en basse-saison, en les comparant à l'indice de la qualité de la nuit, calculé dans la même direction, en ne prenant en compte que les émissions lumineuses de Porquerolles, qui a servi dans la construction de la carte de pollution lumineuse présentée.

Site de mesures		Mesures en basse-saison	Indice de qualité de la nuit ne prenant en compte que les émissions de lumière de Porquerolles
P0	Hameau agricole de Porquerolles	2,10	1,65
P1	la Galère	1,67	1,06
P2	Plaine Notre Dame	1,78	1,11
P3	la Pointe des Mèdes	1,85	1,06
P4	Fort de l'Alycastre	2,10	1,17
P5	les Gorges du Loup	1,90	1,22
P6	Plage d'Argent	2,35	1,34
P19	Domaine de Perzinsky	2,77	2,60
P15b	Digue du Port de Porquerolles	3,16	2,40
AP1b	Oustaou	1,79	1,18
AP5b	Plaine de la Courtade	1,82	1,38
AP4a	Galéasson	1,87	1,06
AP5a	Station Langoustier	2,39	1,08

Table 8 : Comparaison des mesures de qualité de la nuit pour différents sites effectuées en basse-saison avec l'indice de qualité de la nuit ne prenant en compte que les émissions lumineuses de Porquerolles

7.2 Basse-saison : Cartographie de la qualité de la nuit de l'île de Porquerolles, due aux seules sources lumineuses du continent

L'ANPCEN présente la carte de qualité de nuit incluant toutes les sources lumineuses extérieures provenant du continent, **sans prendre en compte les éclairages présents sur l'île de Porquerolles.**

- L'île de Porquerolles se situe alors au niveau vert de l'échelle de qualité de la nuit ce qui correspond à une qualité « **moyenne** ». Cette carte montre donc l'influence importante de la pollution lumineuse produite à distance.
- Cette carte illustre aussi l'hypothèse où Porquerolles déciderait de pratiquer une extinction complète de son éclairage public et de son port, en milieu de nuit. La qualité de la nuit dans la zone du village de Porquerolles en serait grandement améliorée.

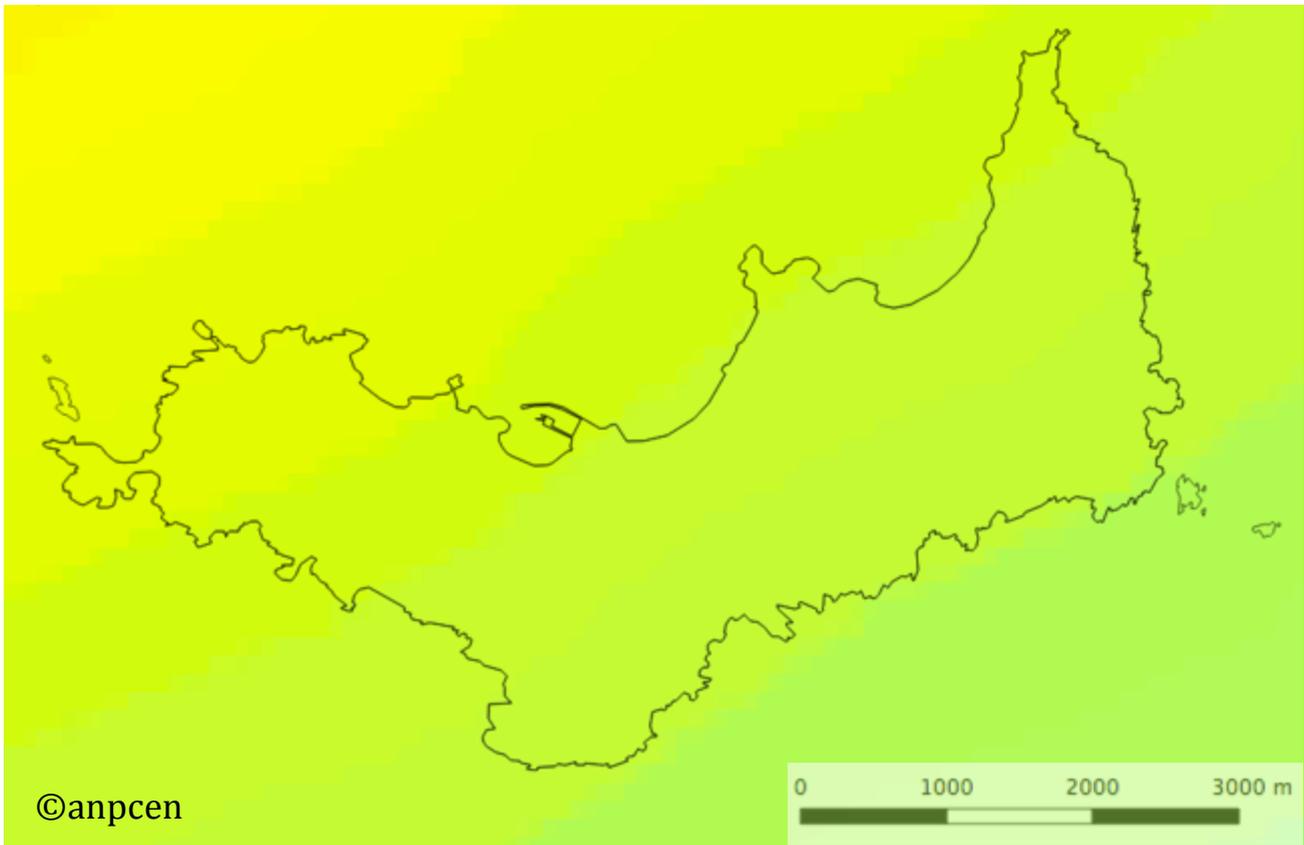


Figure 56 : Carte de la qualité de la nuit de l'île de Porquerolles en basse saison ne prenant en compte que les émissions lumineuses provenant du continent

Contribution individuelle des principales communes du littoral

L'ANPCEN présente la contribution individuelle des principales communes du littoral proche de l'île de Porquerolles, à la pollution lumineuse de l'île.

Site de mesures	Contribution de chaque ville en valeur relative à la pollution lumineuse mesurée sur chaque site en basse saison et en début de nuit (les communes dont une partie de leur territoire se situent dans l'aire optimale d'adhésion du Parc National de Port-Cros sont indiquées en bleu)													
	La Croix-Valmer	Cavaire-sur-Mer	La Garde	Le Lavandou	Carqueiranne	Bormes-les-Mimosas	La Londe-les-Maures	Hyères partie continentale	Saint-Tropez	Sainte-Maxime	Six-Fours-les-Plages	La Valette-du-Var	La Seyne-sur-Mer	Toulon
Distance moyenne	36,3 km	32,9 km	21,9 km	20,7 km	14,5 km	19,6 km	15,4 km	entre 5 km et 15 km	45,2 km	48,4 km	32,8 km	24,4 km	30,2 km	28 km
P0	0,17%	0,71%	3,71%	2,41%	3,59%	3,90%	7,11%	36,01%	0,29%	0,41%	1,59%	2,40%	6,55%	31,16%
P1	0,28%	1,23%	1,96%	4,31%	2,91%	6,79%	10,36%	33,89%	0,45%	0,65%	1,40%	2,11%	6,01%	27,63%
P2	0,24%	1,02%	2,18%	3,68%	3,15%	5,92%	10,11%	35,51%	0,39%	0,54%	1,38%	2,18%	6,00%	27,71%
P3	0,24%	1,05%	1,76%	4,12%	2,99%	6,64%	11,82%	36,66%	0,38%	0,53%	1,21%	2,06%	5,71%	24,83%
P4	0,21%	0,89%	2,42%	3,26%	3,36%	5,26%	9,70%	36,30%	0,34%	0,48%	1,39%	2,24%	6,05%	28,11%
P5	0,18%	0,77%	3,66%	2,51%	3,48%	4,09%	7,05%	34,35%	0,32%	0,45%	1,70%	2,43%	6,72%	32,28%
P6	0,15%	0,63%	3,71%	2,22%	3,73%	3,54%	6,86%	38,21%	0,26%	0,36%	1,52%	2,39%	6,27%	30,17%
P19	0,18%	0,74%	3,68%	2,56%	3,55%	4,12%	7,51%	35,74%	0,30%	0,42%	1,57%	2,38%	6,44%	30,83%
P4b	0,22%	0,94%	2,38%	3,41%	3,28%	5,52%	9,84%	35,76%	0,36%	0,51%	1,39%	2,22%	6,06%	28,10%
P3c	0,24%	1,02%	2,02%	3,81%	3,11%	6,14%	10,63%	36,12%	0,38%	0,54%	1,32%	2,14%	5,88%	26,64%
P3b	0,24%	1,02%	1,82%	3,99%	3,03%	6,44%	11,58%	36,89%	0,38%	0,52%	1,23%	2,07%	5,77%	25,04%
P15	0,17%	0,71%	3,59%	2,52%	3,61%	4,04%	7,63%	36,75%	0,29%	0,40%	1,51%	2,36%	6,33%	30,09%
AP1a	0,18%	0,76%	3,58%	2,67%	3,54%	4,29%	7,89%	35,60%	0,31%	0,43%	1,54%	2,36%	6,43%	30,44%
AP2a	0,18%	0,75%	3,46%	2,62%	3,56%	4,22%	7,87%	36,22%	0,30%	0,42%	1,52%	2,35%	6,35%	30,18%
AP3a	0,19%	0,79%	3,57%	2,72%	3,49%	4,40%	7,96%	35,16%	0,32%	0,44%	1,55%	2,35%	6,47%	30,59%
AP1b	0,23%	0,96%	3,21%	3,21%	3,27%	5,16%	8,58%	33,00%	0,38%	0,54%	1,60%	2,32%	6,47%	31,08%
AP5b	0,21%	0,89%	3,24%	3,02%	3,37%	4,89%	8,49%	33,90%	0,35%	0,50%	1,57%	2,33%	6,51%	30,74%
AP4a	0,27%	1,18%	1,86%	4,33%	2,92%	6,88%	10,90%	34,67%	0,44%	0,62%	1,33%	2,09%	5,91%	26,60%
AP5a	0,12%	0,49%	3,15%	1,75%	4,38%	2,72%	5,52%	38,33%	0,21%	0,29%	1,63%	2,62%	6,67%	32,11%
AP2b	0,19%	0,79%	3,43%	2,76%	3,51%	4,47%	8,18%	35,42%	0,32%	0,44%	1,52%	2,34%	6,36%	30,27%
AP3c	0,21%	0,88%	2,58%	3,22%	3,38%	5,20%	9,63%	36,21%	0,34%	0,47%	1,39%	2,25%	6,07%	28,18%
AP5c	0,18%	0,75%	3,67%	2,57%	3,53%	4,17%	7,59%	35,66%	0,30%	0,42%	1,56%	2,37%	6,41%	30,83%
Moyenne	0,20%	0,86%	2,94%	3,08%	3,40%	4,94%	8,76%	35,74%	0,34%	0,47%	1,47%	2,29%	6,25%	29,26%

Table 9 : Contribution individuelle des principales communes du littoral à la pollution lumineuse mesurée pour les différents sites prospectés de Porquerolles

Le tableau ci-dessus synthétise les principaux résultats pour les sites de mesures manuelles et automatiques sur les différents sites prospectés sur l'île pendant les campagnes de mesures en basse saison.

- Les villes de **Hyères et Toulon** apparaissent comme les deux principales contributrices aux halos lumineux visibles au Nord-Ouest, respectivement à hauteur de **38% et 32%** pour les sites les plus à l'Ouest de l'île, ce qui correspond aussi à la direction du gradient maximal de pollution lumineuse comme constaté dans l'analyse des mesures de terrain. Ces communes se trouvent en moyenne respectivement à **15 et 28 km**.
- Les communes de l'aire optimale d'adhésion du parc national de Port-Cros hors Hyères (indiquées en bleu) contribuent par ordre croissant de **0,20%** pour la Croix-Valmer à 36,3 km, à **8,8%** pour la Londe-les-Maures à 15,4 km.
- Les autres communes du littoral varois (indiquées en noir) contribuent à l'échelle de l'ensemble de l'île par ordre croissant de **0,34%** pour Saint-Tropez à 45,2 km, à **29,3%** pour Toulon à 28 km.

7.3 Basse-saison : Cartographie de la qualité de nuit de l'île de Porquerolles en début de nuit

L'ANPCEN présente la carte de qualité de nuit incluant toutes les sources lumineuses extérieures provenant du continent et les éclairages présents sur l'île en début de nuit.

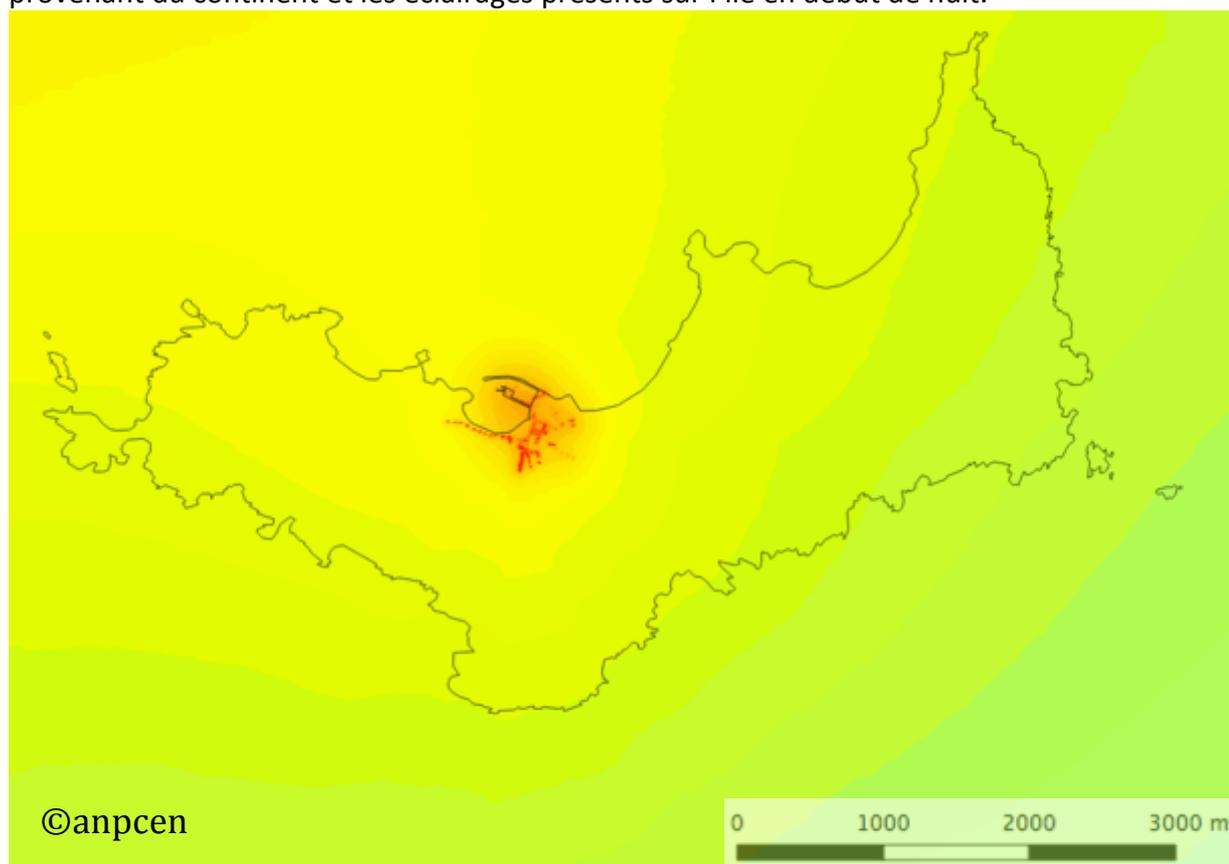


Figure 57 : Carte de la qualité de la nuit ANPCEN© de l'île de Porquerolles en basse saison et en début de nuit.

- A nouveau, sur cette carte, les sites les plus préservés de l'île de Porquerolles se situent sur la côte Sud et la partie Est de l'île.
- **64%** de la superficie de l'île de Porquerolles dispose d'une qualité de la nuit « **moyenne** », **33%** de celle-ci est de qualité « **médiocre** » et **3%** est de « **faible** » qualité.

- La meilleure qualité atteinte est obtenue au Galéasson sur l'île et à l'îlot du Petit Sarranier situé au Sud-Est en milieu de nuit comme le montrent les mesures de qualité de la nuit présentées dans la partie 6 de ce rapport.

7.4 Haute-saison : Cartographie de la qualité de nuit de l'île de Porquerolles en début de nuit

L'ANPCEN présente la carte de qualité de nuit incluant toutes les sources lumineuses extérieures provenant du continent et les éclairages présents sur l'île en période de haute-saison et en début de nuit. Par rapport à la période basse-saison, ont été pris en compte les émissions lumineuses supplémentaires provenant des commerces et restaurants présents au niveau du port et dans le cœur du village de Porquerolles, l'éclairage du restaurant à la plage d'Argent, l'éclairage des terrains de tennis de l'IGESA ainsi que l'éclairage des feux de mouillage²⁰ pour les bateaux de plaisanciers en dehors du port répartis le long de la côte Nord de l'île. Le nombre de bateaux pris en compte pour cette carte et leur répartition spatiale a été effectuée sur la base des photographies nocturnes réalisées en août depuis Porquerolles et le continent hyérois.

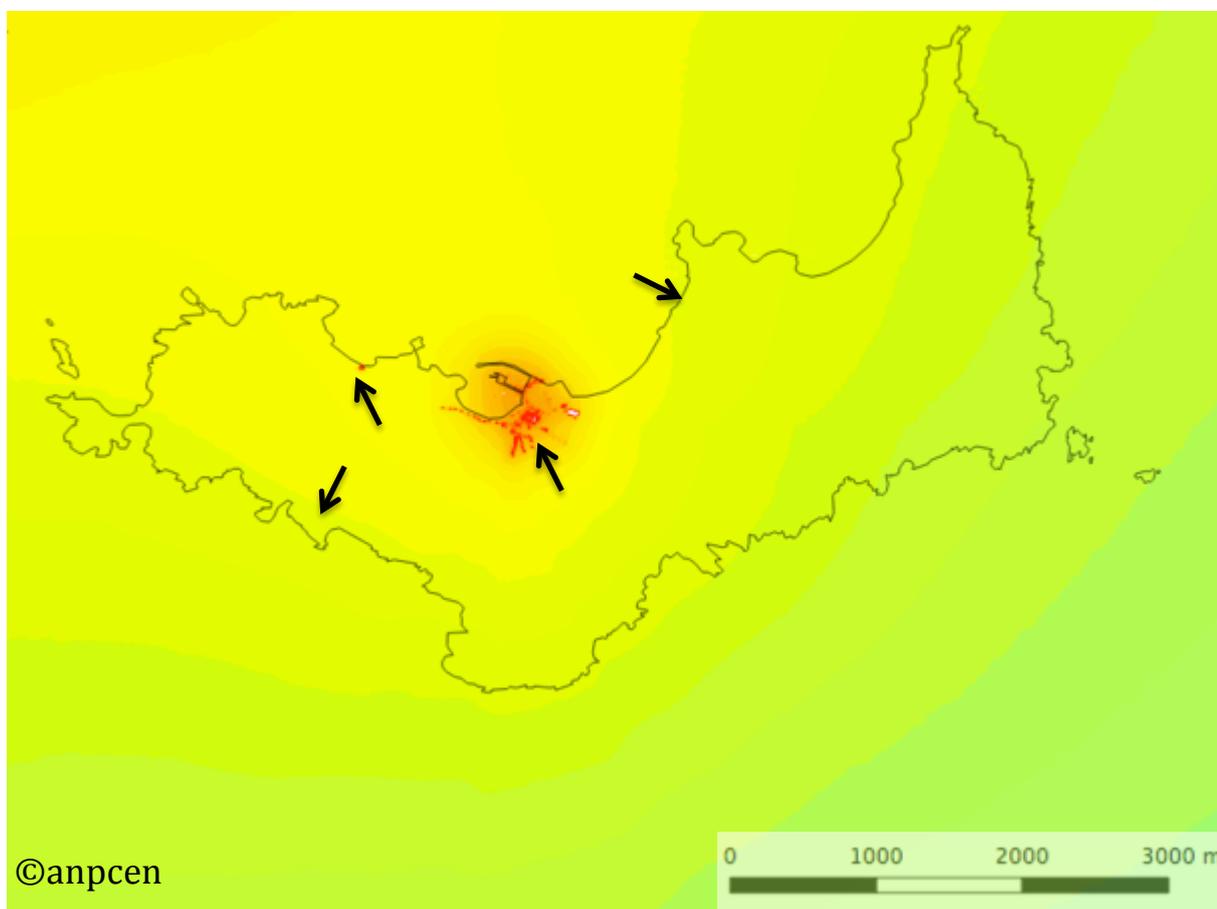


Figure 58 : Carte de la qualité de la nuit ANPCEN© de l'île de Porquerolles en haute-saison : les principales évolutions des niveaux de pollution par rapport à la période basse-saison sont indiquées par les flèches noires

- La haute-saison génère une **baisse globale significative de la qualité de la nuit**.
- **56%** de la superficie de l'île de Porquerolles dispose d'une qualité de la nuit « **moyenne** », **41%** de celle-ci est de qualité « **médiocre** » et **3%** est de « **faible** » qualité.

²⁰ L'intensité des feux de mouillages pris en compte dans cette cartographie a été choisie au minimum réglementaire même si des intensités plus importantes pour certains bateaux ont été constatées et des lumières extérieures supplémentaires

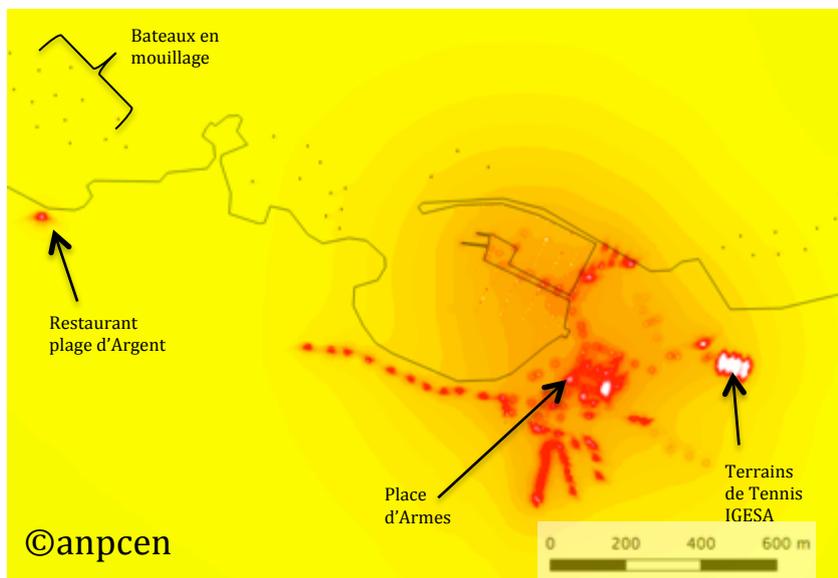


Figure 59 : Zoom sur l'évolution du niveau de qualité de la nuit en haute-saison dans le village de Porquerolles et à la plage d'Argent

- Les éclairages privés principalement au niveau de la ZAC du Port et autour de la place d'Armes contribuent à une augmentation de **18% à 31%** du niveau de pollution lumineuse pendant la saison estivale, comme indiqué dans la partie 6.3.5.

Le zoom ci-dessous montre les niveaux de pollution lumineuse présents sur une partie de la côte Nord de l'île au niveau des plages de la Courtade et de Notre-Dame, avec localisation de la position des bateaux des plaisanciers en mouillage par des points noirs.

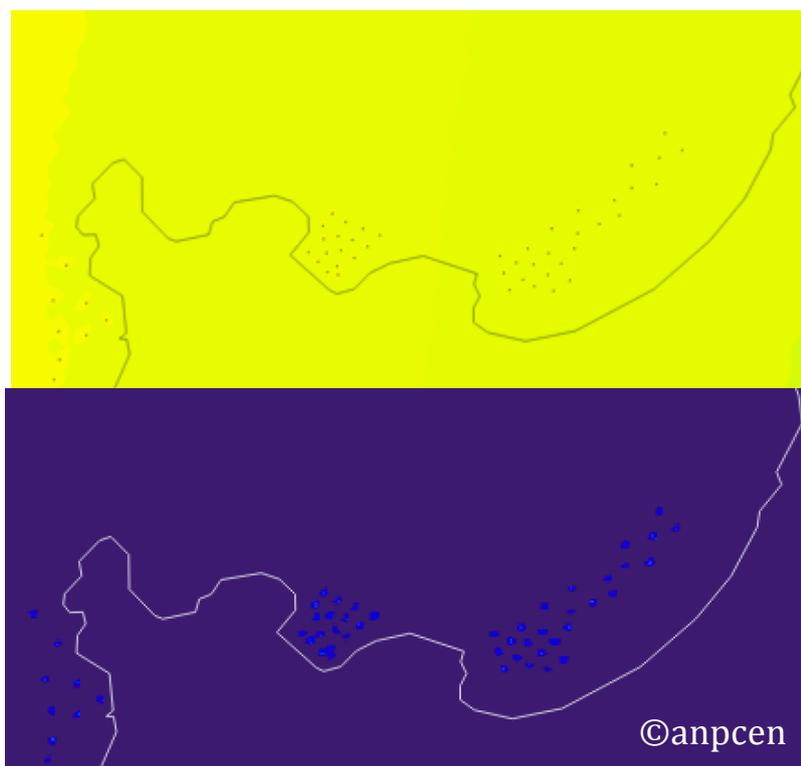


Figure 60 : Zoom sur l'évolution du niveau de la qualité de la nuit en haute-saison le long de la côte Nord de l'île de Porquerolles causé par les navires au mouillage, repérés par des points sur la carte du haut. Zoom sur la contribution directe des feux de mouillages des bateaux au niveau de qualité de la nuit sur la carte du bas

On peut ainsi se rendre compte de l'impact direct de ces éclairages sur le cœur marin du parc national de Port Cros avec Porquerolles qui mérite d'être signalé même s'il reste faible et très

localisé. Il est important de rappeler que seule la contribution des feux de mouillage a été prise en compte ici, alors qu'ont été constatées pour certains bateaux d'autres sources lumineuses supplémentaires. La loi relative à la biodiversité, votée en 2016, reconnaît désormais les sources lumineuses en mer comme sources de possibles nuisances.

8 Croisement et analyses cartographiques des niveaux de pollution lumineuse avec les données de milieux et de biodiversité de l'île

8.1 Introduction à la biodiversité présente sur l'île de Porquerolles

L'île de Porquerolles, située dans un espace protégé, présente une riche biodiversité, terrestre et marine. Quelques chiffres-clés sont extraits du site internet du parc national :

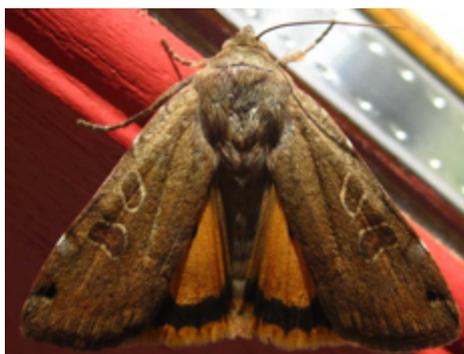
- **602** espèces terrestres pour la flore,
- **500** espèces d'algues pour la flore, avec les herbiers de Posidonie,
- **144** espèces d'oiseaux (dont 40 espèces nicheuses),
- **180** espèces de poissons avec le milieu marin autour de l'île, intégré dans le sanctuaire PELAGOS des mammifères marins,
- et quelques espèces terrestres endémiques comme le discoglosse sarde (petit batracien) et le phyllodactyle d'Europe (petit reptile en voie de régression).
- **18 espèces animales** patrimoniales sont présentes sur l'île de Porquerolles dont 9 espèces déterminantes.

Lors des campagnes de mesures manuelles, en particulier en août 2016, tout au long de la nuit, ont été entendus de nombreux petits ducs à proximité du village et des puffins à la fois au site des Mèdes (site P3) et aux Gorges du Loup (site P5). Des pipistrelles chassant des insectes au niveau du luminaire en face de l'école de Porquerolles ont également été observées.

Un inventaire des lépidoptères hétérocères est également en cours pour compléter les données de biodiversité du parc national de Port Cros sur un ordre d'insectes particulièrement sensibles à la pollution lumineuse et qui constituent la base de l'alimentation pour les chiroptères ainsi que pour de nombreux oiseaux présents sur l'île.



Sphinx Tête de mort (©Ppersuy CC-BY-NC)



La suivante (©Jean Haxaire CC-BY-NC)

Figure 61 : Illustrations de 2 espèces de lépidoptères hétérocères présentes sur Porquerolles

Enfin, l'île joue un rôle important pour les oiseaux migrateurs. Un couloir de migration privilégié en particulier lors de la migration pré-nuptiale au printemps, existe au niveau de la plaine de la Courtade, où plus de 200 espèces d'oiseaux sont régulièrement observées dont la Marouette ponctuée et le Tarier des prés qui sont des migrateurs nocturnes.

Les différentes espèces de puffins, oiseaux pélagiques, sont bien connus pour être sensibles à la pollution lumineuse en particulier lors de la phase d'envol des jeunes. Ils sont attirés par les lumières artificielles qui les trompent et causent de nombreux échouages sur d'autres îles de

Méditerranée comme à Malte ou dans l’océan Indien à l’île de la Réunion. L’enjeu de pollution lumineuse pour les puffins à l’île de Porquerolles est cependant assez différent puisque les colonies de puffins nichent essentiellement sur la côte rocheuse Sud de l’île de Porquerolles et ne sont pas soumis à des lumières directes comme à Malte ou à la Réunion. Les sources lumineuses sont concentrées ici sur la côte Nord de l’île au niveau du village et du port de Porquerolles qui n’offrent pas d’habitat favorable pour ces espèces d’oiseaux.

Dans le tableau ci-dessous, sont sélectionnées les principales espèces présentes sur l’île de Porquerolles, connues pour avoir besoin de la nuit pendant une partie de leur cycle de vie et qui présentent une sensibilité à la lumière artificielle la nuit plus ou moins importante.

Espèces présentes* sur Porquerolles avec une activité nocturne marquée

Groupe d'espèces	Nom commun	Nom scientifique	Source	Localisation	
Amphibiens et reptiles	Phyllodactyle d'Europe	<i>Euleptes europaea</i>	Guillaume Astruc, Thibaut Couturier et Marc Cheylan 2009	ancienne carrière, fort du Bon Renaud au Langoustier, cimetière, Sémaphore murs de pierre (forts), affleurements rocheux (les Médés) ou zones anthropisées anciennement (Phare, batterie des Médés) et village	
	Hémidactyles verruqueux	<i>Hemidactylus turcicus</i>			
	Rainette méridionale	<i>Hyla meridionalis</i>			
Lépidoptères hétérocères	Sphinx tête de mort	<i>Acherontia atropos</i>	http://www.faune-paca.org/		
	Bombyx du Pin	<i>Dendrolimus pini</i>		Bassin de lagunage, Fort de la Repentance	
	Boarmie pétrifiée	<i>Menophra abruptaria</i>		Fort de la Repentance	
	Phalène honorée	<i>Campaea honoraria</i>		Bassin de lagunage, Fort de la Repentance	
	Xyline australe	<i>Aporophyla australis</i>		Bassin de lagunage	
	Xyline provençale	<i>Mniotype solieri</i>		Village, Fort de la Repentance	
	Noctuelle farouche	<i>Agrotis trux</i>		Bassin de lagunage	
	Noctuelle de la Tomate	<i>Helicoverpa armigera</i>		Fort de la Repentance	
	Noctuelle des Haies	<i>Caradrina morpheus</i>		Bassin de lagunage	
	La Noctuelle exiguë	<i>Spodoptera exigua</i>		Fort de la Repentance	
	Leucanie orbicole	<i>Mythimna unipuncta</i>		Village	
	Leucanie vitelline	<i>Mythimna vitellina</i>		Fort de la Repentance	
	Hameçon méridional	<i>Watsonalla uncinula</i>		Village	
	Méticuleuse	<i>Phlogophora meticulosa</i>		Fort de la Repentance	
	Manteau pâle	<i>Eilema caniola</i>		Bassin de lagunage, Fort de la Repentance	
	Lithosie quadrille	<i>Lithosia quadra</i>		Bassin de lagunage, Fort de la Repentance	
	Larentie des Mauves	<i>Larentia malvata</i>		Village	
	La suivante	<i>Noctua orbona</i>		Village, Fort de la Repentance	
	Collier soufré	<i>Noctua janthe</i>		Bassin de lagunage, Fort de la Repentance	
	la Pachycnémie des Callunes	<i>Pachycnemia hippocastanaria</i>		Fort de la Repentance	
Moro-sphinx	<i>Macroglossum stellatarum</i>	Village			
Oiseaux	Puffin cendrée	<i>Calonectris diomedea</i>	PNPC	Côte rocheuse Sud et Est de l'île	
	Puffin yelkouan	<i>Puffinus yelkouan</i>			
	Fauvette pitchou	<i>Sylvia undata</i>		Plaine de la Courtade	
	Engoulevent d'Europe	<i>Caprimulgus europaeus</i>			
	Coucou geai	<i>Clamator glandarius</i>			
	Blongios nain	<i>Ixobrychus minutus</i>		https://inpn.mnhn.fr/	
	Chouette chevêche	<i>Athene noctua</i>		http://www.faune-paca.org/	
Hibou petit duc	<i>Otus scops</i>	Fort de la Repentance			
Hibou grand duc	<i>Bubo bubo</i>	PNPC			
Chiroptères	Murin à oreilles échanquées	<i>Myotis emarginatus</i>	https://inpn.mnhn.fr/	Gîtes à la maison du Parc (avec une sortie à l'abri des lumières directes du côté du jardin Emmanuel Lopez) et au Fort du Galéasson	
	Murin de Daubenton	<i>Myotis daubentoni</i>			
	Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>			
	Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>			
	Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhli</i>			
	Pipistrelle Soprane	<i>Pipistrellus pygmaeus</i>			PNPC
	Pipistrelle de Savi	<i>Pipistrellus savii</i>			
	Minioptère de Schreiber	<i>Miniopterus schreibersi</i>			
	Molosse de Cestoni	<i>Tadarida teniotis</i>			https://inpn.mnhn.fr/
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>				
Oreillard méridional	<i>Plecotus austriacus</i>		Gîte au Fort du Galéasson		
Mammifères terrestres (hots chiroptères)	Rat noir	<i>Ratus Ratus</i>	https://inpn.mnhn.fr/		
	Mulot sylvestre	<i>Apodemus sylvaticus</i>			
	Musaraigne étrusque	<i>Suncus etruscus</i>			

* sur la base de données naturalistes récentes issus d'inventaires ou d'observateurs individuels

Table 10 : Espèces présentes sur l’île de Porquerolles avec une activité nocturne marquée

8.2 Croisement de la cartographie de la pollution lumineuse avec les données de milieu de l'île et de son pourtour

L'ANPCEN reprend le contour du réservoir de biodiversité défini dans le Schéma Régional de Cohérence Ecologique (SRCE) de la région PACA sur le périmètre de l'île de Porquerolles et représenté en vert sur la carte ci-dessous. Elle intègre également sur cette même carte le contour du cœur marin défini autour de l'île et représenté en bleu. Le secteur urbanisé de Porquerolles ainsi que les trois domaines agricoles et les propriétaires privés sont exclus du réservoir de biodiversité défini par le SRCE. Le port et son chenal d'entrée sont également exclus du cœur marin.



Figure 62 : Contours du réservoir de biodiversité défini dans le SRCE de la région PACA (en vert) et contours du cœur marin défini dans le périmètre du PNPC (en bleu) pour l'île de Porquerolles.

L'ANPCEN croise ensuite le périmètre du réservoir de biodiversité sur l'île défini par le SRCE avec la carte de pollution lumineuse réalisée, afin d'analyser le pourcentage de superficie caractérisée par un certain niveau de qualité de la nuit.

- En basse saison, le réservoir de biodiversité a une qualité de la nuit « moyenne » sur **70%** de sa superficie alors que les **30%** restants présentent une qualité de la nuit « médiocre ».
- En haute saison, la proportion de la superficie du réservoir de biodiversité présentant une qualité de la nuit médiocre augmente en atteignant **39%**.

L'ANPCEN présente également la répartition de la qualité de la nuit sur le périmètre du cœur marin défini autour de l'île, représenté ci-dessus.

- Les éléments présentés dans la partie 6 ont permis de montrer que la mer est éclairée de manière significative par le continent ou par les navires au mouillage. Cette lumière artificielle

pénétrant en partie dans le milieu marin peut attirer certaines espèces de poissons et en faire fuir d'autres. Elle peut encore modifier la migration verticale du zooplancton qui évolue naturellement selon le cycle lunaire dans la colonne d'eau. Cela peut conduire alors à une modification de la relation proie-prédateur en favorisant les poissons prédateurs au détriment des poissons planctophages (cf. partie 3.1.1 de notre étude MEB-ANPCEN de 2015).

- En basse saison, la qualité de la nuit sur le cœur marin autour de l'île est « moyenne » sur **70%** de sa superficie, les **30%** restant bénéficiant d'une qualité « médiocre » concentrée sur la côte Nord de l'île.
- En haute saison, la proportion de la superficie du cœur marin avec une qualité « médiocre » augmente également en atteignant **39%**.

8.3 Croisement de la cartographie de la qualité de la nuit avec les données d'un groupe d'espèces : les chiroptères

La synthèse des données²¹ du parc national de Port Cros, mesurées entre juin et début octobre sur la période 2015-2016 suivant le protocole Vigie-Chiro, étendu en 2016 au niveau du village, a été rapprochée de l'étude de la pollution lumineuse sur l'île, afin d'étudier l'interaction entre l'activité des chiroptères et la présence de lumière artificielle.

Sur la carte de l'île, l'ANPCEN a représenté l'emplacement des différents points d'écoute de l'activité des chiroptères. L'objectif ici est de faire une première analyse en croisant les espèces de chiroptères détectées à proximité des points d'écoute, avec le niveau de pollution lumineuse issu de la cartographie-ANPCEN de l'île de Porquerolles en haute-saison pour en déduire une première estimation d'un seuil de niveau de pollution lumineuse compatible avec l'activité de différentes espèces de chiroptères.



Murin à oreilles échanquées (©Karol Tabarelli CC BY-SA 3.0)



Oreillard gris (©Jasja Dekker CC BY-SA 2.0)

Figure 63 : Illustrations de 2 espèces de chiroptères présentes sur Porquerolles

²¹ Les données de 2016 utilisées dans cette partie restent partielles, n'ayant pas encore été complètement traitées pour plusieurs points d'écoute.
2017 - Rapport de mission ANPCEN 2016

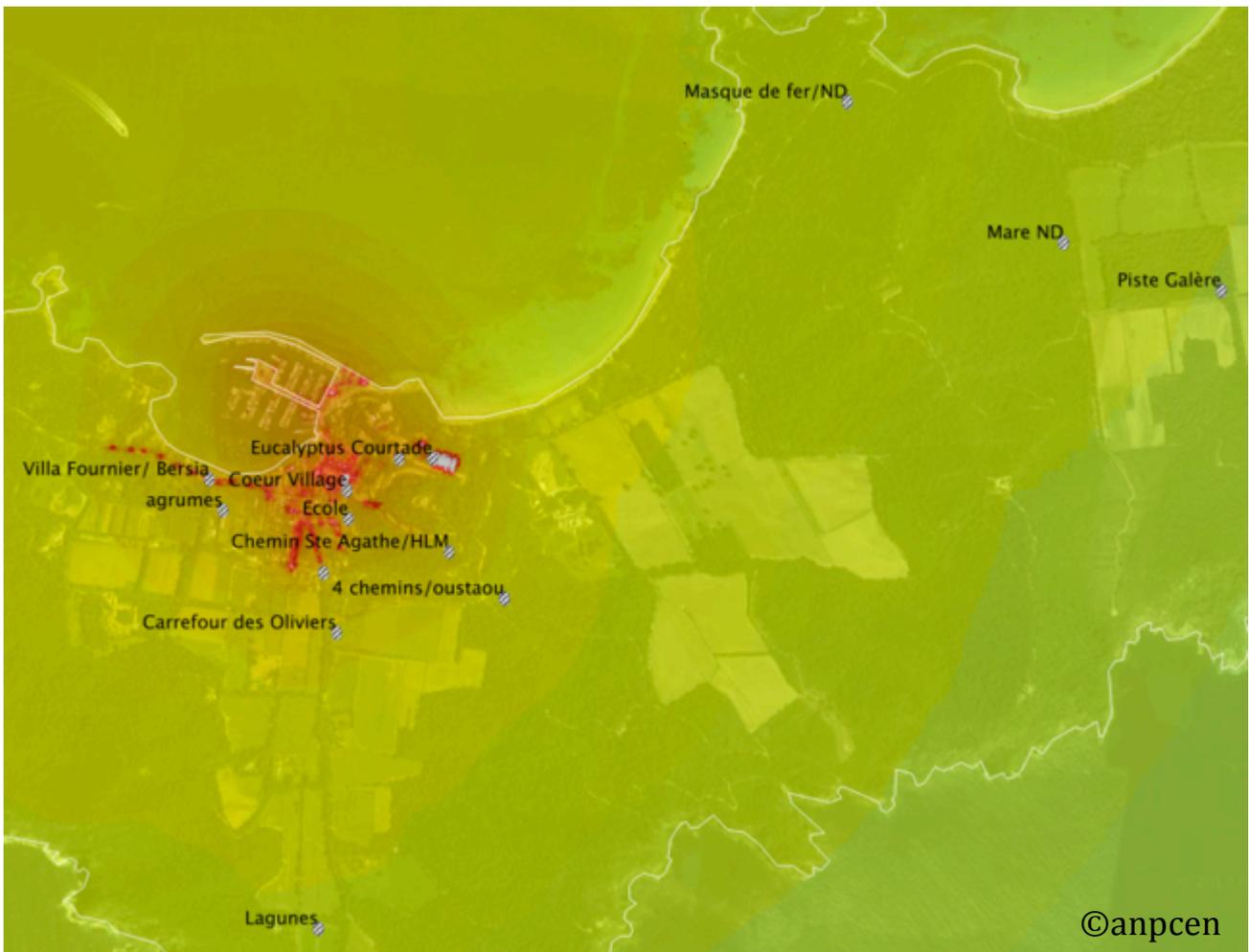


Figure 64 : Position des différents points d'écoute mis en place par le PNPC, dans le cadre du programme Vigie-Chiro, pour les saisons 2015 et 2016. En arrière-plan la cartographie-Anpcen© de qualité de nuit, en haute saison et une image satellite de Porquerolles illustrant les différents types de milieux rencontrés

La distance maximale détectable par les enregistreurs à ultrasons dans un milieu ouvert pour un chiroptère en activité dépend de sa signature sonore (plus sa taille est petite, plus la fréquence des ultrasons qu'il émet est élevée et la portée du son est faible). Elle peut ainsi atteindre de l'ordre de 50m pour une noctule commune et atteindre de l'ordre de 5m seulement pour un petit rhinolophe. Pour cette étude, nous avons supposé un rayon de détection moyen de 20 mètres.

- Certaines espèces de chiroptères sont présentes sur l'ensemble des sites prospectés par le parc national de Port Cros : c'est le cas de la pipistrelle de Kuhl et de la pipistrelle soprane qui sont parmi les espèces les plus tolérantes à la lumière et qui profitent de la lumière pour chasser les insectes attirés par les luminaires.
- Le murin à oreilles échanquées qui possède un gîte dans la tour de la maison du parc est également détecté en activité même dans le cœur du village où la qualité de la nuit est faible, voire mauvaise avec des niveaux relatifs de luminances pouvant atteindre localement plus de 20 dans le périmètre du détecteur installé à cet endroit. Une autre observation intéressante est qu'il n'y a aucune détection pour ce chiroptère à proximité de sources lumineuses à vapeur de mercure haute pression, émettant de la lumière blanche, comme à l'IGESA ou au niveau des HLM du chemin Ste Agathe, alors qu'il est détecté dans le même type d'habitat à 200m au Sud-Est systématiquement en 2016, mais en l'absence cette fois de lumière directe.

- La sérotine commune quant à elle semble éviter les zones les plus éclairées caractérisées par une luminance moyenne relative supérieure à 9, elle est malgré tout détectée en plusieurs endroits du village.
- L'oreillard gris, une espèce moins tolérante à la lumière, n'est par contre pas détecté en activité dans la zone du village, mais en de nombreux endroits de l'île. Le secteur le plus proche des zones éclairées se situe en périphérie Ouest du village correspondant à une qualité de la nuit médiocre avec un indice compris entre 4,6 et 5.
En analysant les mesures d'activité des chiroptères pour 2016 où les points d'écoute ont été disposés par paires (l'un à proximité d'un point d'éclairage, l'autre éloigné entre 50m et 200m suivant les cas dans un endroit plus sombre), le caractère lucifuge de l'oreillard gris est à nouveau mis en évidence, absent à proximité des luminaires du chemin du Langoustier et présent 100m au Sud dans une zone non éclairée directement.
- Le murin de Daubenton qui est aussi considéré comme une espèce lucifuge est détecté dans les milieux qu'il affectionne proche des points d'eau, mais il est aussi détecté de manière plus surprenante dans le cœur du village.

Toutes les corrélations reportées ici suite au croisement des données de pollution lumineuse avec l'activité des chiroptères méritent d'être confirmées sur le long terme par d'autres observations afin de pouvoir conduire une analyse statistique, chaque point d'écoute ne faisant l'objet que de deux passages par an.

Il est néanmoins possible déjà de déduire qu'un niveau de qualité de nuit « moyen » dans un espace protégé comme l'île de Porquerolles avec un habitat faiblement fragmenté (hors village) est favorable pour les espèces de chiroptère non lucifuges et dans une moindre mesure pour des espèces de chiroptères lucifuges comme l'oreillard gris. Une espèce plus lucifuge comme le Petit rhinolophe semble pourtant avoir disparu de l'île puisqu'elle a été constatée en novembre 1956 (Allen 1998) mais il n'y a plus eu de données récentes confirmant sa présence après 1980.

9 Pistes d'actions proposées pour réduire les pollutions lumineuses

Il serait important d'intégrer dans chaque projet d'éclairage extérieur futur la prise en compte des recommandations décrites ci-dessous pour les principaux acteurs de l'île.

L'information auprès des acteurs locaux sur la réalisation de cette étude a éveillé un intérêt pour ce sujet, qui a donné lieu, en cours d'étude, à deux sollicitations de l'ANPCEN pour des recommandations en matière d'éclairage pour des projets locaux. La ville d'Hyères a effectué une demande relative aux abords de la Place d'Armes et au Chemin Ste Agathe et Port Toulon Provence a consulté l'ANPCEN pour un projet d'aménagement du quai des Pêcheurs.

9.1 Pistes d'améliorations pour l'éclairage public de Porquerolles

9.1.1 Conception et fixation d'un objectif

- Fixer un objectif de progrès lisible, en utilisant les étiquettes environnementales citées afin de définir de manière simple et pédagogique une trajectoire de progrès.

Actuellement l'éclairage public de l'île :

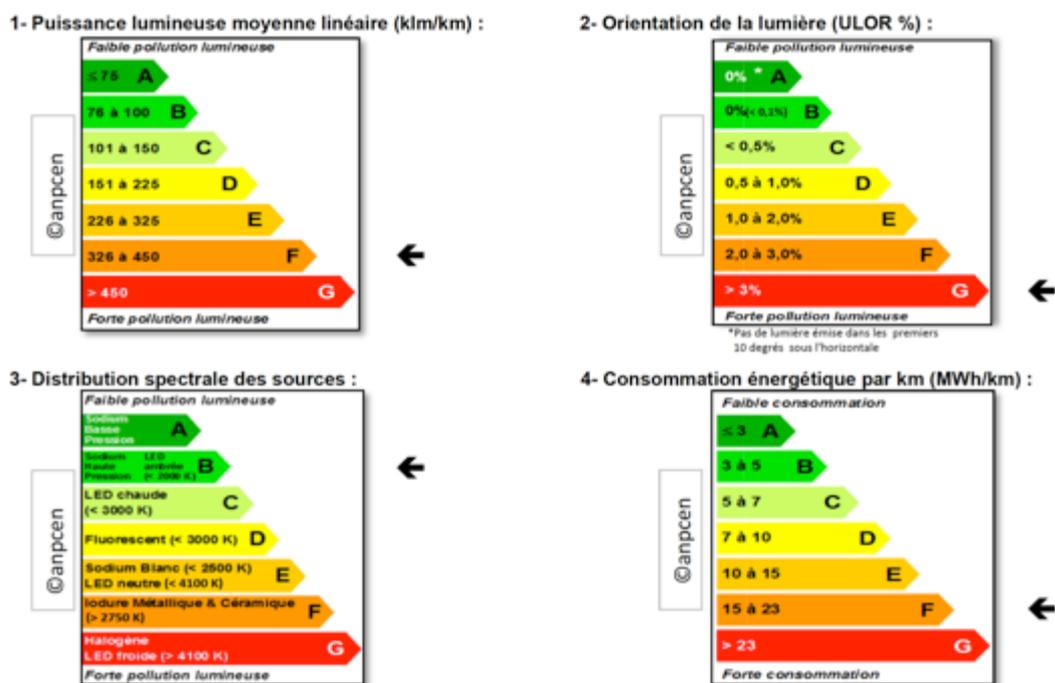


Table 11 : Situation actuelle de l'éclairage public de l'île de Porquerolles par rapport aux différentes étiquettes environnementales du cadran des progrès ANPCEN

- Identifier la réalité des besoins d'éclairage et privilégier les réponses sur mesure aux prescriptions standardisées, dans un contexte de dialogue avec les acteurs et habitants,
- Adapter l'éclairage au statut de l'île et à son environnement,
- Privilégier une approche en coût global (achat sans oublier installation, fonctionnement, maintenance, collecte-recyclage) et impacts globaux dans la conception de l'éclairage et ses usages et dans les choix de matériel (biodiversité et paysages, sommeil et santé, énergie et climat, sécurité, budget, éco-conception et gestion de fin de vie, observation astronomique...).
- Distinguer les réponses aux différents enjeux de la lumière, de la seule approche énergétique,
- Tenir compte de la très faible circulation routière dans l'île. Les principaux besoins en éclairage (niveaux d'éclairages, maîtrise des éblouissements) doivent donc être adaptés aux vitesses de déplacement : vélos, scooters, piétons, allers et venues des passagers des navires sur les pontons...
- Utiliser des balisages lumineux de faible hauteur et dirigé vers le sol, notamment en basse saison.

9.1.2 Ajustements de la quantité de lumière émise et distribution spectrale

- Baisser la puissance installée en sélectionnant des lampes de 70W pour les mâts de 8 mètres et de 50W pour les mâts de 3,5 ou 4 mètres (hors luminaires avec un rendement médiocre comme le modèle Nella où il faudrait viser 70W), afin de limiter en particulier les quantités de lumière réfléchi vers le ciel contribuant à l'amplification des halos de pollution lumineuse par la couverture nuageuse
- Conserver en priorité les lampes au sodium haute-pression présentant le moins d'impact sur la biodiversité
- Si la technologie à LEDs devait être retenue, il faudrait proscrire les LEDs émettant de la lumière blanche avec une température de couleur supérieure à 2400°K et privilégier les LEDs

ambrées à spectre large (avec une température de couleur inférieure à 2000°K) ou mieux à spectre étroit pour les sites naturels.

Projection ANPCEN n°1 : baisse de puissance installée

L'ANPCEN présente ci-dessous une projection de la carte de qualité de la nuit qui serait obtenue pendant la période de basse saison, avec la baisse de puissance installée conseillée pour l'ensemble des sources lumineuses de l'éclairage public du village et du port de Porquerolles.

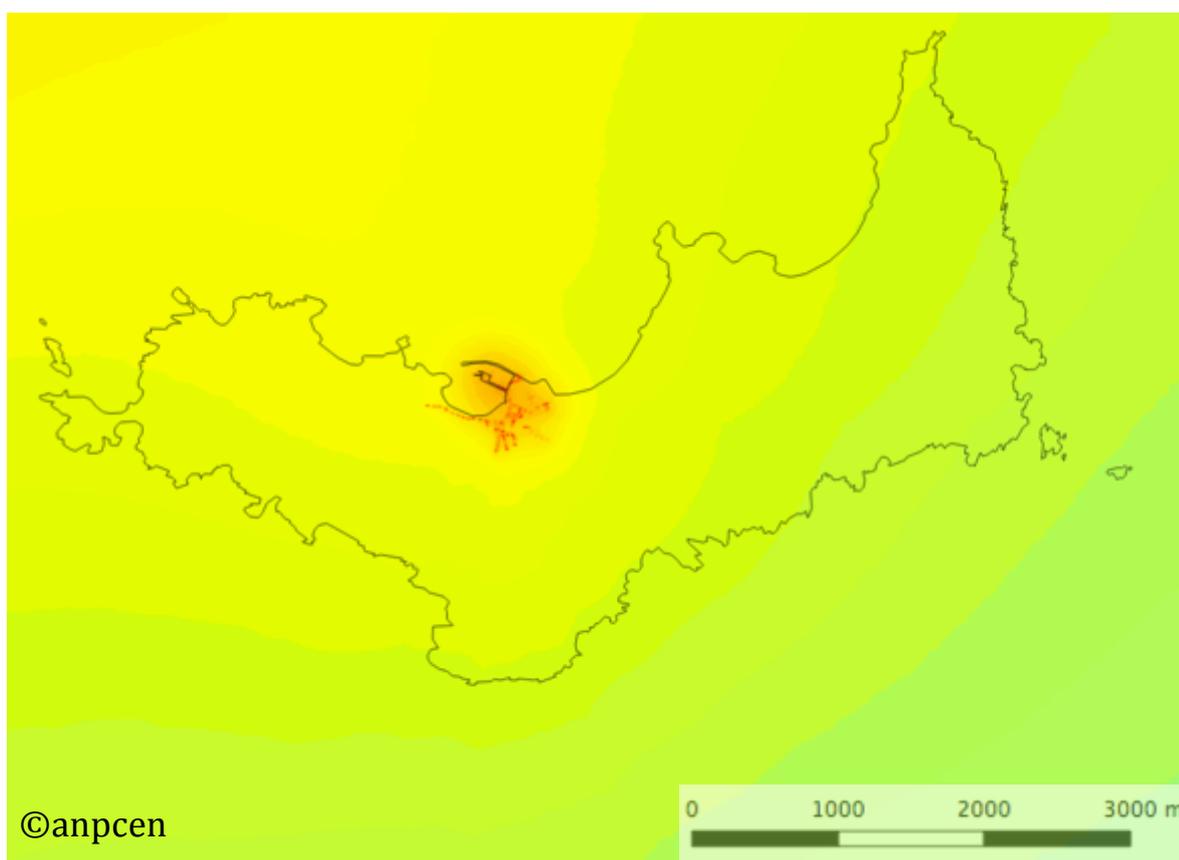
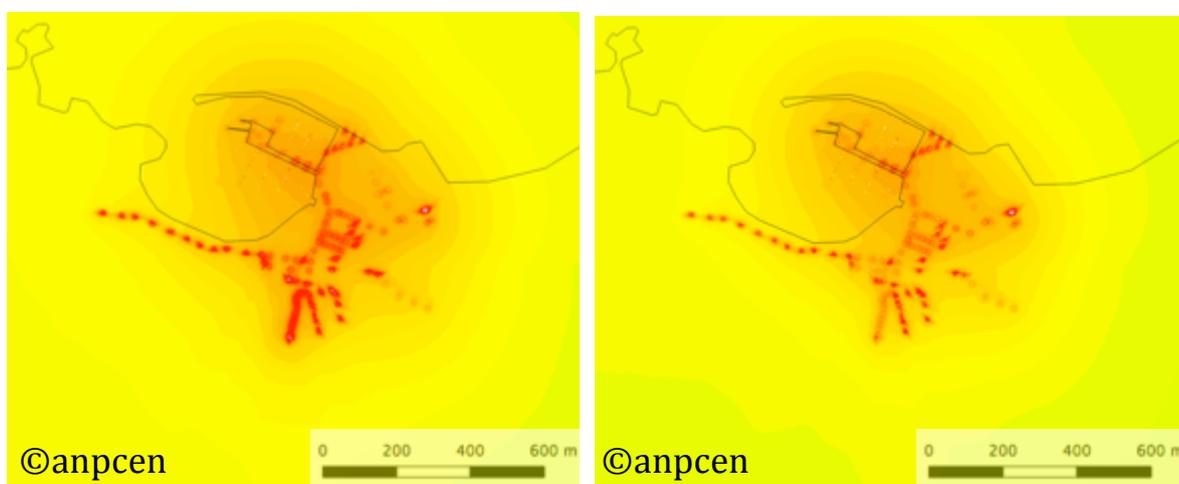


Figure 65 : Projection de la carte de qualité de nuit de l'île de Porquerolles, après réduction de la puissance installée des lampes afin de supprimer les sur-éclairnements



AVANT

APRES

Figure 66 : Zoom sur le village de Porquerolles avant et après la réduction de la puissance installée des lampes

- Ce changement permet une amélioration significative de la qualité de la nuit sur **13%** de la superficie de l'île par rapport à la situation actuelle en basse-saison.
- **72%** de la superficie de l'île de Porquerolles dispose alors d'une qualité de la nuit « moyenne », **27%** de celle-ci est de qualité « médiocre » et **1%** est de « faible » qualité.
- **78%** du réservoir de biodiversité de l'île possède une qualité de la nuit « moyenne » (22% reste de qualité médiocre) et **75%** du cœur marin de l'île possède une qualité de la nuit « moyenne » (25% reste de qualité médiocre).

9.1.3 Réduction des temps d'éclairage

- Utiliser des horloges astronomiques pour les armoires de commande de l'éclairage,
- Expérimenter une extinction nocturne, en cœur de nuit, dans le village dans un premier temps en basse-saison, puis en haute-saison après une pédagogie de l'ensemble des enjeux auprès des acteurs et des habitants par une information adaptée, et en organisant plusieurs événements de sensibilisation et redécouverte de la nuit (cf. carte de la partie 7.2)
- Expérimenter sur une année la mise en place de détecteurs de présence en certains lieux, choisis selon les voies et leurs usages, en associant les riverains et en prévoyant un bilan d'étape et un bilan final)

9.1.4 Amélioration de l'orientation de la lumière

- Installer des coupe-flux noir mat pour tous les luminaires installés sur consoles murales afin de limiter l'éclairage des façades,
- Supprimer les inclinaisons des luminaires installés sur crosses en les cintrant, de manière à ce que la vasque de fermeture du luminaire soit strictement à l'horizontale,
- Pour les lanternes de style disposant de réflecteurs, supprimer les vitres latérales pour limiter la diffusion de lumière latéralement à proximité et au-dessus de l'horizontale ainsi que l'encrassement. Installer dans le même temps et à la place une vitre horizontale protégeant le réflecteur et l'ampoule, et empêchant les insectes de se brûler par contact direct avec la source.
- Pour les autres luminaires, changer les vasques de fermeture bombées par des vasques planes ou installer par défaut des coupes-flux assurant une absorption du flux lumineux dirigé en dehors de la cible à éclairer,
- Changer progressivement les luminaires en sélectionnant des modèles équipés de réflecteurs optiques performants asymétrique (pour limiter la lumière intrusive) et complètement défilés avec ULOR=0% (tolérance $ULOR \leq 0,1\%$ ²²) en position d'installation (une inclinaison non nulle de la vasque par rapport au sol augmente la valeur de l'ULOR). Les espacer le plus possible avec un coefficient d'uniformité générale ne dépassant pas 0,2 et

²² Un luminaire avec ULOR=1% augmente le niveau relatif de pollution lumineuse à distance d'au moins 100% par rapport à un luminaire avec ULOR=0%.

permettant de limiter la fragmentation causée par une route éclairée (une espèce nocturne relativement tolérante à la lumière a ainsi plus de possibilités de franchir une zone éclairée à mi-distance entre 2 luminaires en évitant les flux lumineux les plus importants)

Projection ANPCEN n°2 : amélioration de l'orientation de la lumière

L'ANPCEN présente ci-dessous une projection de la carte de la qualité de nuit qui serait obtenue pendant la période de basse saison, incluant la baisse de puissance conseillée ci-dessus et avec une conversion de l'ensemble des sources lumineuses de l'éclairage public du village de Porquerolles par des luminaires complètement défilés n'émettant plus de lumière directement au-dessus de l'horizontale (ULOR=0%).

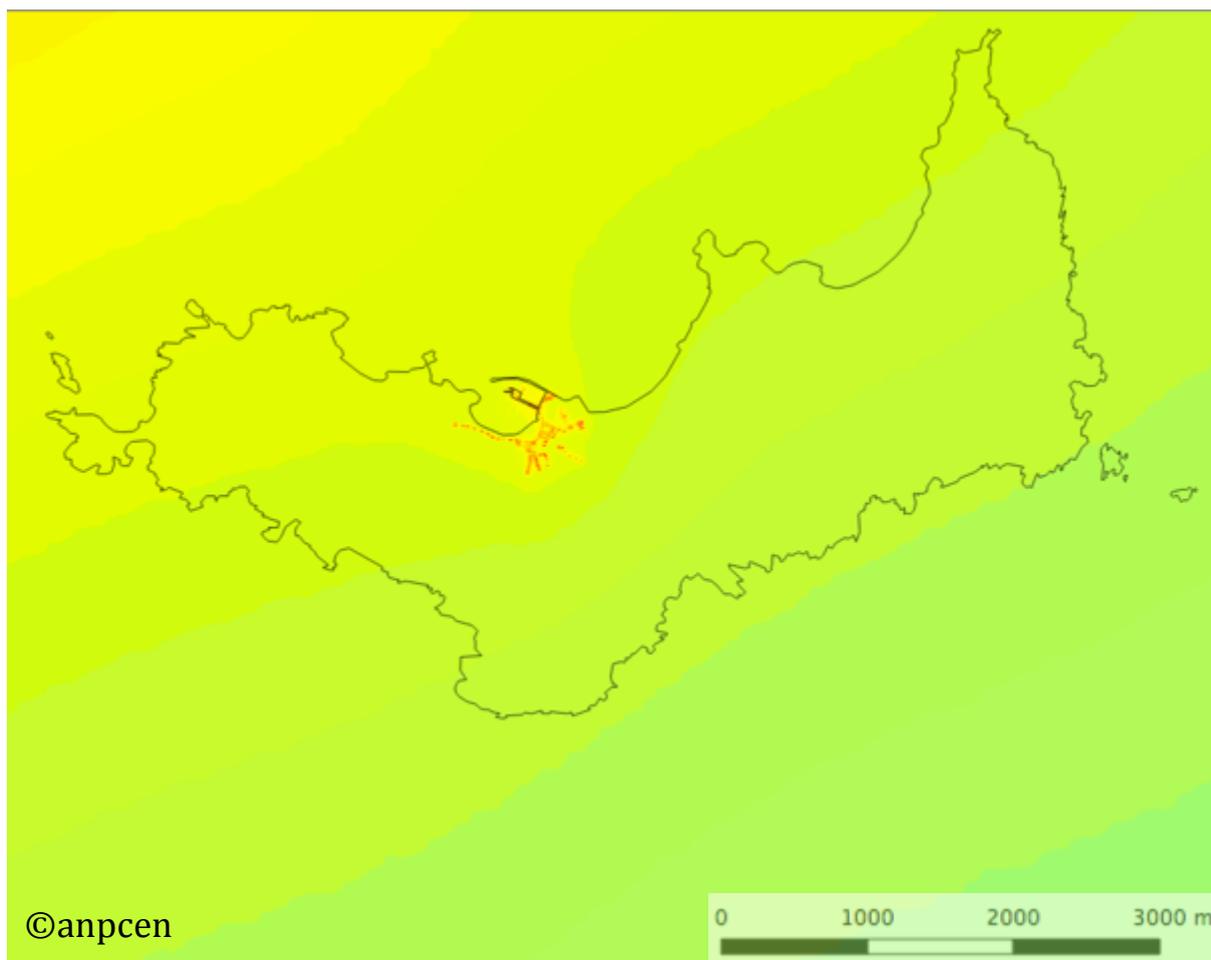


Figure 67 : Projection de la carte de qualité de nuit de l'île de Porquerolles après la conversion totale du parc d'éclairage extérieur (village+port+éclairages privés) sans émission directe de lumière au-dessus de l'horizontale (ULOR=0%)

- Ce changement apporte une amélioration importante de la qualité de la nuit **sur plus de 54%** de la superficie de l'île par rapport à la situation actuelle en basse-saison.
- **99%** de la superficie de l'île de Porquerolles atteint alors une qualité de la nuit « moyenne » alors que **1%** seulement de celle-ci est de qualité « médiocre ».
- L'ensemble du réservoir de biodiversité de l'île bénéficie alors d'une qualité de la nuit devenue « moyenne ». Il en va de même pour 94% du cœur marin de l'île (6% reste de qualité médiocre, localisé sur le secteur Nord-Ouest).
- L'indice global de qualité de la nuit à l'extrémité Sud-Est du cœur marin devient égal à **2,25**. Il se rapproche d'une « bonne » qualité atteinte en milieu de nuit.

9.1.5 Prise en compte des nuisances lumineuses dans les documents locaux, dans le PCAET et la déclinaison du SRCE

Les espaces protégés sont particulièrement appelés à mettre en place des mesures spécifiques depuis 2010. Par ailleurs la loi de transition énergétique depuis 2015 prévoit un volet éclairage dans le PCAET (Plan Climat-Air-Energie Territorial) avec des installations lumineuses « exemplaires tant d'un point de vue énergétique qu'environnemental ». Au delà du cœur de Parc, les trames nocturnes et la gestion de la lumière artificielle dans les continuités écologiques, indiquée dans la loi biodiversité de 2016, seraient à préciser. Il serait également intéressant d'intégrer la problématique des nuisances et pollution lumineuses dans le nouveau document d'objectifs (DOCOB) de site Natura 2000 en cours de révision.

De manière générale :

- Identifier la réalité des besoins d'éclairage et privilégier les réponses sur mesure aux prescriptions standardisées,
- Privilégier une approche en coût global (achat, installation, fonctionnement, maintenance, collecte-recyclage) et impacts globaux dans la conception de l'éclairage et ses usages et dans les choix de matériel (biodiversité et paysages, sommeil et santé, énergie et climat, sécurité, budget, éco-conception et gestion de fin de vie, observation astronomique...),
- Distinguer les réponses aux différents enjeux de la lumière, de la seule approche énergétique,
- Fixer des objectifs de progrès pour exprimer une trajectoire lisible par tous en termes de réduction de la quantité globale de lumière émise à un instant donné (exprimé en Glm) et intégrée sur une année complète (exprimé en Glm.h),
- Intégrer des indicateurs comme présentés dans la partie 5.1.3,
- Pour chaque rénovation d'installations lumineuses, utiliser le cadran des progrès de l'ANPCEN pour vérifier si le projet d'éclairage est compatible avec une réduction de la pollution lumineuse et viser les niveaux A à C pour les 4 étiquettes.

Pour le SRCE (Schéma Régional de Cohérence Ecologique) et TVB (Trame verte et bleue) :

- Eviter chaque fois que possible l'éclairage de sites, milieux et éléments naturels,
- Préciser les mesures de gestion de la lumière dans les cœurs de biodiversité du SRCE,
- Préciser la ou les trames nocturnes : mesures adaptées de la gestion de la lumière artificielle dans les continuités écologiques,
- Adapter la gestion de la lumière aux milieux et espèces présentes (selon les recommandations MEB-ANPCEN, 2015 par groupes d'espèces), chaque fois que possible,
- Suivre l'état de la biodiversité nocturne,
- Intégrer les effets à distance des lumières émises, sur les milieux, espèces et paysages, qui sont amplifiés le cas échéant par la couverture nuageuse.

Pour le PCAET (Plan Climat-Air-Energie Territorial) :

- Contribuer à l'intégration d'un volet éclairage dans le PCAET intercommunal, avec des objectifs relatifs aux nuisances lumineuses et un indicateur adapté à la mesure de la quantité de lumière émise, distinct des indicateurs relatifs à l'énergie consommée ou économisée. La question de la lumière et des nuisances lumineuses devrait figurer dans chaque étape du PCAET : diagnostic, stratégie territoriale, plan d'actions et dispositif de suivi et d'évaluation,
- Distinguer les réponses aux différents enjeux de la lumière, de la seule approche énergétique.

9.2 Pistes d'amélioration pour les mises en lumière

- S'assurer que les mises en lumière des façades et vitrines sont bien éteintes à 1h, selon la réglementation en vigueur,
- Pour les mises en lumière, privilégier un éclairage ciblé des détails architecturaux avec une luminance ne dépassant pas 2 cd/m^2 plutôt qu'un éclairage uniforme avec des niveaux de luminances trop élevés. Par exemple pour l'église Ste Anne, l'éclairage ciblé de la rosace, du portail d'entrée ainsi que des deux statuettes de chaque côté par des spots éclairant plutôt du haut vers le bas permettrait de limiter fortement la pollution lumineuse actuelle.

9.3 Pistes d'amélioration pour les éclairages du port

- Utiliser des coupes-flux pour ne pas éclairer directement la mer à la fois pour les bornes de cheminement et pour les luminaires,
- Changer progressivement les luminaires en privilégiant des sources de lumière jaune-orangée et en suivant les mêmes recommandations que mentionné dans la partie 9.1. Utiliser en particulier des luminaires avec des réflecteurs optiques asymétriques pour ne pas éclairer le milieu maritime,
- Eviter les mises en lumières d'éléments naturels ou limiter leur durée de fonctionnement.

9.4 Pistes d'amélioration pour l'IGESA et les autres résidences de tourisme

- Installer des détecteurs de présence pour les cheminements piétons au niveau des circulations extérieures donnant accès aux différents appartements,
- Expérimenter une extinction nocturne en milieu de nuit pour l'entrée et les espaces extérieurs dans le périmètre de chaque établissement privé,
- Changer progressivement les luminaires en privilégiant des sources de lumière jaune-orangée et en suivant les mêmes recommandations que mentionné dans la partie 9.1,
- Sensibiliser le public pratiquant le tennis à l'extinction après usages de l'espace sportif.

9.5 Pistes d'amélioration pour les commerces

- Viser la qualité de la nuit pour attirer des touristes sensibles à la qualité de nuit, cohérente avec la qualité de l'environnement naturel de l'île,
- Respecter la réglementation avec extinction des vitrines et des enseignes lumineuses au plus tard à 1h et au moins jusqu'à 6h,
- Ne pas mettre en lumière la végétation à proximité,
- Eclairer les enseignes du haut vers le bas avec une puissance raisonnable,
- Orienter correctement les projecteurs servant à éclairer les terrasses pour la restauration en ajoutant de préférence des coupe-flux permettant de limiter les éblouissements.

9.6 Pistes d'amélioration pour les bateaux des plaisanciers en mouillage

- Penser à éteindre les feux de navigation (vert et rouge) ainsi que toute lumière lorsqu'elle n'est pas utilisée tout en maintenant le feu blanc de mouillage réglementaire,
- Pour le feu de mouillage concernant les bateaux de moins de 30 mètres, ne pas dépasser une puissance lumineuse de 100 lm ou une intensité lumineuse de 5 cd permettant d'être conforme à la réglementation (portée minimale de 2 milles marins) et de limiter

l'éclairage du milieu marin autour du bateau ainsi que les reflets gênants sur la mer pour les autres plaisanciers. Privilégier pour le choix de blanc, une température de couleur inférieure à 3000°K. Ces recommandations pourraient être prises en compte dans le cadre de l'opération locale « bateau bleu ».

9.7 Pistes d'amélioration pour le parc national de Port Cros

- Organiser des éléments de pédagogie en basse saison et haute saison des enjeux pluriels des impacts de l'éclairage vers les différents publics et acteurs,
- Contribuer à la collecte de données utiles au suivi de ce premier état réalisé, à inscrire notamment dans le bilan régulier du partenariat avec l'ANPCEN,
- Contribuer au suivi de la trajectoire de progrès accomplis et, périodiquement, la quantité de lumière émise pour mettre en oeuvre les objectifs fixés dans la charte du parc,
- Suivre l'état et les évolutions de la biodiversité nocturne,
- Encourager la prise de mesures et d'actions spécifiques attendues au sein d'un espace protégé, et à distance, pour prévenir, limiter, supprimer les nuisances lumineuses in situ,
- Encourager les progrès de gestion de la lumière dans l'aire d'adhésion pour prévenir limiter, supprimer les nuisances lumineuses produites à distance et favoriser des approches partagées cohérentes.

10 Animations, sensibilisation, rencontre des acteurs locaux et des habitants

Le partenariat scientifique entre l'ANPCEN et le parc national de Port Cros est complété de démarches pédagogiques. Ainsi des présentations à différents acteurs et des conseils et préconisations ont été décrites dans le processus suivi.

Une journée d'animation a été programmée le 18 mars 2017 pour sensibiliser habitants, élèves de l'école et acteurs de l'île, les communes de l'aire d'adhésion ainsi que les autres partenaires du parc national (collectivités, services de l'Etat, associations, réseaux d'îles, ...)

- des conférences scientifiques présentant les enjeux liés aux pollutions lumineuses, les principaux résultats issus de l'étude ANPCEN et les inventaires faunistiques réalisées en parallèle en 2016 par le parc national de Port Cros sur les chiroptères et les lépidoptères hétérocères,
- des échanges avec le public via différents supports de communications de l'ANPCEN comme son exposition et le jeu pédagogique élaboré avec l'école de l'île,
- un diaporama en soirée sur la biodiversité nocturne par le parc national de Port Cros,
- et enfin l'extinction de l'éclairage public de Porquerolles permettant à l'ANPCEN de tenir des ateliers d'observation, avec la participation de l'Observatoire du Pic des Fées. Ils permettront la découverte du ciel étoilé avec la reconnaissance des principales constellations et des planètes visibles à l'œil nu, et l'observation de différents objets astronomiques (amas d'étoiles, nébuleuses, galaxies) dans les meilleures conditions à l'aide de différents instruments (jumelles, télescopes, lunettes).



Conclusion

L'ANPCEN a effectué une étude de la qualité de la nuit et des pollutions lumineuses sur l'île de Porquerolles, un site insulaire protégé en milieu méditerranéen. L'analyse des mesures de luminance de l'environnement nocturne en différents points de l'île a mis en évidence une contribution importante des émissions lumineuses produites à distance depuis le littoral du continent (ville d'Hyères, presqu'île de Giens et côte varoise) qui est encore amplifiée par la présence d'une couverture nuageuse 40 % du temps nocturne, en basse saison.

Les cartographies de la qualité de la nuit de l'île réalisées en basse et haute saison mettent en évidence l'accroissement de lumières avec la forte fréquentation touristique estivale, et son impact sur la qualité de la nuit sur l'île.

Le décret n° 2011-831 du 12 juillet 2011 prévoit que dans les espaces protégés les installations lumineuses font l'objet de mesures plus restrictives que celles appliquées aux dispositifs implantés en agglomération et en dehors des agglomérations. L'analyse détaillée des différents éclairages extérieurs publics et privés présents sur l'île de Porquerolles, ainsi que les projections fournies, indique un fort potentiel de progrès possibles pour limiter la pollution lumineuse sur l'île émise par le village et le port de Porquerolles et contribuer à la mission de préservation de la riche biodiversité de l'île.

L'ANPCEN encourage et accompagne les démarches d'engagements volontaires par les communes avec différents outils : publications, charte, cartographie de la qualité de nuit par territoire.... Les recommandations mises en oeuvre sont valorisables à terme, par l'obtention du label national Villes et villages étoilés, par la ville d'Hyères et par les communes du littoral ou en aire d'adhésion du parc national qui souhaitent limiter ou réduire les nuisances et pollution lumineuses. Chaque commune en participant reçoit un bilan indicatif avec une première évaluation globale de la qualité de son éclairage extérieur.

Le parti pris est celui d'une lumière conçue sur mesure, pour des besoins pluriels et mieux partagés au cœur de la nuit. C'est le pari d'une lumière du XXIème siècle qui, plus qu'une innovation technologique seulement, résultera d'une vision plus globale et cohérente et prendra en compte ses propres externalités pour les résoudre. De manière générale, l'ingénierie construite sur le dépassement de limites physiques et naturelles, l'augmentation continue de la consommation de matières ou l'obsolescence programmée est déjà dépassée ; celle de demain réside dans de nouveaux usages et services, elle s'inspirera des stratégies ingénieuses et cycliques du vivant, pleinement d'actualité, pour voir, se déplacer, échanger, et, pourquoi pas, se reposer, la nuit. La nuit constitue la moitié de la vie.

Remerciements

Ce travail est né grâce au cadre de coopération établi entre les parcs nationaux et l'ANPCEN, puis à la convention spécifique signée ensuite par la présidente du parc national de Port Cros, Isabelle Monfort avec la présidente de l'ANPCEN, Anne-Marie Ducroux. Il a bénéficié du concours de Guillaume Sellier, Directeur du parc national de Port Cros, Claire Mignet, chef de service Economie de Proximité, Innovation, Transition Energétique et Peggy Fournial, garde-moniteur.

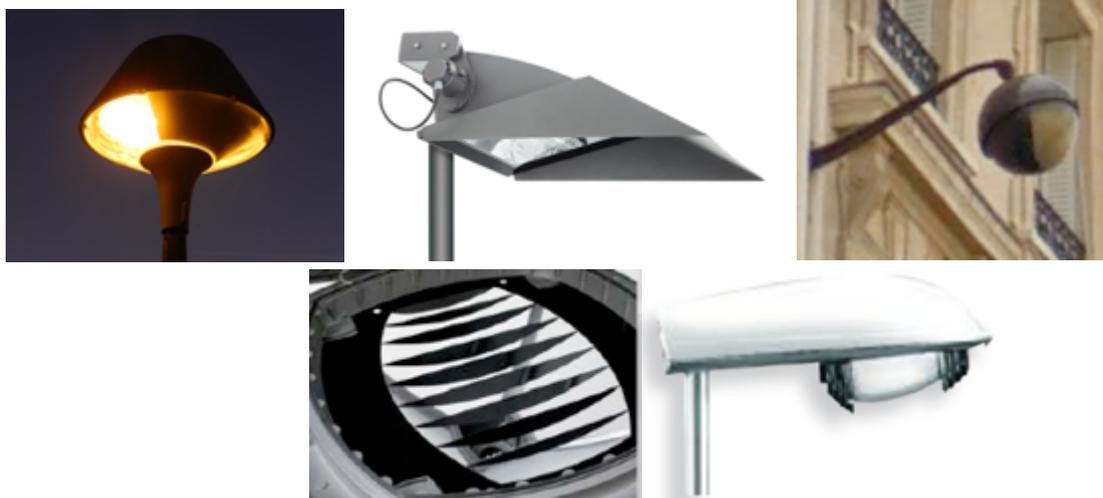
Un grand merci à Peggy Fournial pour sa conduite sur des pistes délicates, tard dans la nuit aux quatre coins de l'île afin de nous permettre d'effectuer des mesures de la qualité de la nuit et à tous les agents locaux du parc National de Port-Cros rencontrés au cours de nos missions sur l'île en 2016 qui nous ont accueilli chaleureusement au hameau de Porquerolles. Merci enfin aux équipes techniques de la ville d'Hyères et de Port Toulon Provence et aux structures et personnes qui ont contribué à la pose des appareils fixes ou des mesures manuelles : Olivier Sadoun, directeur de l'IGESA, Alex Bernt, responsable de la Base Voile et M. Leroi, propriétaire.

Nous remercions le Maire de la ville d'Hyères, Jean-Pierre Giran et Philippe Pisani, adjoint spécial de l'île de leur attention et de leur accueil.

Annexe 1 - Glossaire

Albédo : proportion du flux de lumière incident qui est réfléchi.

Bafflage : dispositif pour mieux orienter la lumière ou du moins la supprimer dans des directions particulières qui n'ont pas à être éclairées ; un coupe flux ou bien un paralume peut être utilisé dans ce but.



Indice de qualité de la nuit : indicateur utilisé dans ce rapport pour mesurer l'augmentation de la luminance de l'environnement nocturne dans une direction spécifique par rapport à une situation sans pollution lumineuse par ciel clair et en l'absence de lune.

Indice global de qualité de la nuit : indicateur moyenné intégrant plusieurs mesures de l'indice de qualité de la nuit pour un ensemble de directions définies par différents azimuts allant de 0° à 360° et pour une hauteur d'observation variant du zénith jusqu'à proximité de l'horizon.

Isotrope : qui présente les mêmes caractéristiques dans toutes les directions.

Luminance (cd/m²) : correspond à la perception visuelle d'une source lumineuse ou d'une surface éclairée. Elle est calculée comme étant l'intensité lumineuse moyenne provenant de cette surface divisée par l'aire apparente de cette dernière. Elle s'exprime pour un œil humain adapté à la vision du jour en candéla par m² (cd/m²).

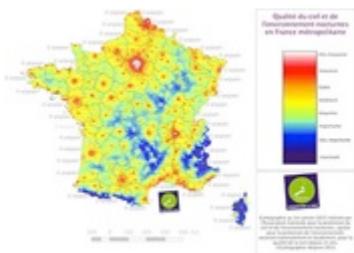
Paralume : dispositif se plaçant autour d'une source lumineuse et permettant d'atténuer son intensité lumineuse et par conséquent les risques d'éblouissement en la masquant pour qu'elle ne soit pas directement visible.

Température de couleur : correspond à la température d'un corps noir chauffé jusqu'à obtenir une couleur identique à la couleur principale d'émission de la source²³ lumineuse considérée. Elle est mesurée en degrés Kelvin (K).

ULOR (Upward Light Output Ratio) : proportion de flux de la source lumineuse équipant un luminaire émis au-dessus du plan horizontal passant par ce luminaire.

²³ Le spectre d'émission des sources de lumière artificielle à décharges et à LED est cependant bien différent de celui d'un corps noir et il n'y a pas de lien direct entre la température de couleur et la distribution spectrale d'une source. Pour une même technologie de lampe, on peut quand-même en déduire que plus la température de couleur d'une source est élevée, plus l'émission dans les basses longueurs d'ondes (violet, bleu, vert) est importante.

Annexe 2 - Outils complémentaires



Cartographie-ANPCEN© de la qualité de nuit en France, 2015

https://www.anpcen.fr/index.php5?id_rub=&id_ss_rub=127&id_actudeta il=125



Etude inédite MEB-ANPCEN « Éclairage du XXIème siècle et biodiversité – pour une meilleure prise en compte des externalités de l'éclairage extérieur sur notre environnement »

https://www.anpcen.fr/docs/20150705154513_gnxyp6_doc167.pdf

Sommaire : La lumière et le vivant. Eclairage artificiel et espèces : état des connaissances par groupes d'espèces. Préconisations MEB-ANPCEN pour un éclairage extérieur moins perturbant pour la biodiversité. Contrats et aides mobilisables. Pistes pour une prise en compte globale des externalités de l'éclairage.



Charte ANPCEN d'engagements volontaires pour les communes de protection du ciel et de l'environnement nocturnes

https://www.anpcen.fr/index.php5?id_rub=96&id_ss_rub=115&rub=co mprendre-nos-actions-locales



Série de témoignages vidéos d'élus, produite par l'ANPCEN : des maires de différentes régions de France témoignent de la manière dont ils ont réfléchi aux enjeux de l'éclairage et de la pollution lumineuse

https://www.anpcen.fr/index.php5?id_rub=19&id_ss_rub=380



Villes et Villages étoilés

C'est le label national témoin de l'attention à la qualité de la nuit tant pour les citoyens que pour l'environnement.

https://www.anpcen.fr/?id_rub=19&rub=participez-%E0-villes-et-villages-etoiles

Le millésime 2017 encourage les dynamiques collectives : les communautés de communes ou d'agglomération, les Parcs Naturels Régionaux et les Parcs Nationaux pourront être distingués collectivement par le jury national, si l'ensemble de leurs communes participent au concours individuellement et que 80% d'entre elles sont labellisées.

Les communes labellisées :

- . bénéficient d'une reconnaissance nationale qui met en valeur une démarche de progrès avec des choix en matière d'efficacité et de sobriété énergétiques, de prévention et de limitation des nuisances lumineuses, de découverte des différents enjeux de notre environnement nocturne avec les citoyens,
- . valorisent ce label national auprès des habitants et médias locaux,
- . reçoivent un diplôme personnalisé au nom de la commune et de son maire,
- . ont la capacité à poser des panneaux « ville étoilée » ou « village étoilé » dans la commune avec le nombre d'étoiles obtenues,
- . favorisent des économies à la fois d'énergie et budgétaires, tout en contribuant au respect de l'environnement nocturne,
- ... et elles rejoignent le cercle des communes déjà labellisées !

Les communes participantes, labellisées ou non :

- . reçoivent toutes, à l'issue de leur participation, un bilan indicatif gratuit de leur éclairage extérieur prenant en compte la qualité environnementale, et une proposition d'axes de progrès simples et faciles à mettre en œuvre. Elles disposent d'indicateurs de situation et de suivi pour progresser,
- . peuvent être informées et conseillées pour prévenir, limiter ou réduire la pollution lumineuse.



Document de pédagogie grand public

Erosion de la biodiversité. Gaspillage énergétique et financier. Impacts sanitaires. Perturbations de l'observation astronomique. Perte d'inspiration pour les civilisations. Idées fausses sur la sécurité. Eco-conception, déchets, émissions. Cartographie de la pollution lumineuse en France, à jour. Guide de bons et mauvais choix de lampadaires ou installations. L'association ANPCEN : plaidoyer national et actions multi-territoriales, ensemble.

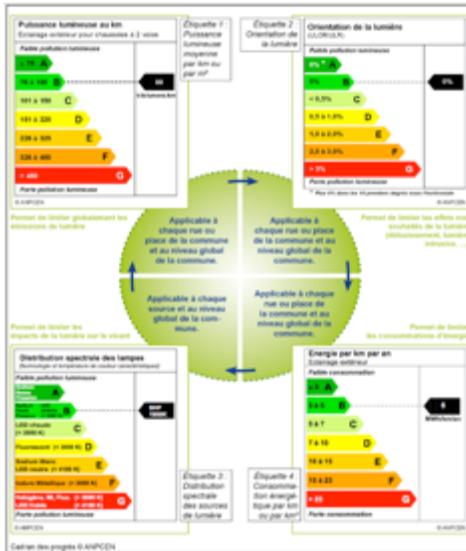
La boîte à outils originale de l'ANPCEN

https://www.anpcen.fr/index.php5?id_rub=1&id_ss_rub=127&id_actudetail=150



Exposition ANPCEN : 3 posters complémentaires

Permettant la pédagogie des différents enjeux de l'éclairage



Étiquettes environnementales ANPCEN : le cadran des progrès

4 étiquettes indissociables, permettant de situer son éclairage et de fixer des objectifs de progrès lisibles de manière simple et pédagogique

Annexe 3 - Qualité de la nuit, paysages nocturnes, nuisances lumineuses : évolutions institutionnelles récentes

Le cadre institutionnel a évolué en 2015 et en 2016

2015 : la loi de transition énergétique pour la croissance verte

★ Introduction d'un volet spécifique à la maîtrise de la consommation énergétique de l'éclairage public **et de ses nuisances lumineuses** dans les Plans climat-air-énergie territoriaux (PCAET),

★ Obligation **d'exemplarité énergétique et environnementale** pour les nouvelles installations d'éclairage public sous maîtrise d'ouvrage de l'État et de ses établissements publics et des collectivités territoriales.

https://www.anpcen.fr/?id_rub=1&id_ss_rub=127&id_actudetail=123

https://www.anpcen.fr/?id_rub=1&id_ss_rub=127&id_actudetail=147

2016 : la loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages

★ Les paysages nocturnes sont reconnus comme un **patrimoine commun** de la nation (article L. 110-1 du Code de l'environnement).

★ Il est désormais du **devoir de chacun de veiller à la sauvegarde et de contribuer à la protection de l'environnement, y compris nocturne** (article L. 110-2).

★ Les sources lumineuses en mer sont identifiées comme nuisance au même titre que les sources sonores (article L. 219-8).

★ La **qualité des paysages est explicitement liée à la prévention des nuisances lumineuses** (article L. 350-1 C).

★ La trame verte et bleue, qui doit assurer les continuités écologiques nécessaires à la préservation de la biodiversité, intègre désormais **la trame nocturne à travers la gestion de la lumière artificielle la nuit** (article L. 371-1).

https://www.anpcen.fr/?id_rub=&id_ss_rub=127&id_actudetail=140

www.anpcen.fr

Annexe 4 – Carte de localisation des points de mesures (page 9)



Plan d'échantillonnage des différents sites de mesures manuelles (points oranges) et automatiques (étoiles jaunes) de la qualité de la nuit

Calendrier des campagnes de mesures de la qualité de la nuit (P 34)

Annexe 5 – Table des illustrations présentées

Figure 1 : Périmètre du parc national de Port-Cros avec les communes adhérentes à la charte fin 2016.....	4
Figure 2 : Plan d'échantillonnage des différents sites de mesures manuelles (points oranges) et automatiques (étoiles jaunes) de la qualité de la nuit. Comme sur toutes les cartes incluses dans ce rapport, le Nord est en haut.	9
Figure 3 : Exemples de mises en place au site du Galéasson (gauche) et sur un mât en bois depuis une habitation dans le centre-bourg de Porquerolles, d'instruments automatiques de mesure de la luminance de l'environnement nocturne.....	10
Figure 4 : Plan centré sur le village et le port de Porquerolles avec géolocalisation des différents types d'éclairages extérieurs rencontrés (en blanc, les éclairages publics appartenant à la commune de Hyères, en rouge les éclairages du port, en orange les éclairages du village de vacances de l'IGESA et en jaune les éclairages privés appartenant aux hôtels et restaurants)...	12
Figure 5 : Luminaire « Saphir » équipé d'une vasque bombée et installé sur une crose inclinée à 8 mètres de hauteur : orientation de la lumière non optimale avec flux de lumière perdue.	14
Figure 6 : Luminaires de style sans réflecteur optique à parois vitrées avec lampe fluocompacte verticale apparente : flux perdu, lumière non dirigée, lumière intrusive, éblouissements, encrassement des parois en verre (entretien et perte rendement) et diffusion de la lumière vers le haut par le verre.....	14
Figure 7 : Luminaires de style avec réflecteur optique, permettant un meilleur contrôle du flux lumineux (les vitres latérales participent quand-même à une diffusion de lumière directement vers le haut, amplifiée par le salissement). Mais l'ANPCEN a constaté que plusieurs d'entre eux présentaient une ampoule inclinée dépassant du réflecteur générant un important flux perdu et un éblouissement causé par une installation non optimale.	14
Figure 8 : Boule diffusante, perte de flux dans toutes les directions vers le bâti, le ciel et les milieux environnant et ampoule apparente responsable d'un éblouissement diminuant la visibilité.	14
Figure 9 : Borne de cheminement à lampe fluo-compacte avec vasque bombée et paralume peu efficace : lumière mal dirigée, mauvais rendement, entretien.....	14
Figure 10 : Puissance installée trop élevée du fait du sol en terre battue avec fort coefficient de réflexion et mauvaise orientation des flux (lumière intrusive, éclairage important des façades de bâtiments et des éléments naturels : arbres, haies et arbustes à fleurs).....	15
Figure 11 : A gauche : deux types de luminaires, un luminaire « boule » et son remplaçant récent « le Nella » ; le flux perdu directement à la verticale est plus faible pour ce dernier puisqu'il dispose d'un réflecteur mais, comme le montre l'image de droite, il reste un flux latéral perdu très important qui peut se propager directement à grande distance longitudinalement à la rue ou qui éclaire les fenêtres des résidences.	15
Figure 12 : Bornes murales de cheminement équipées de lampes fluo-compactes blanches à 1m du sol : moins de quantité de lumière émise par rapport à un luminaire sur mât de 4 m, mais l'orientation de la lumière n'est pas optimale : flux de lumière directement émis à proximité de l'horizontale et vers le haut par les fentes de refroidissement éclairant le mur d'en-face à plus de 2m de haut.	15
Figure 13 : Eclairage de la Place d'Armes par des modèles « Nella » (photo prise en basse-saison).....	16
Figure 14 : Eclairage de la place d'Armes par un modèle de luminaire « Nella ».....	16
Figure 15 : Impact direct de la lumière d'un autre luminaire d'éclairage public « Nella » sur un bougainvillier qui a fini par l'englober au fur et à mesure de sa croissance : perturbation du rythme biologique, modification de l'écosystème arbre et espèces, vieillissement prématuré... éclairage non fonctionnel.....	16

Figure 16 : Vue du village de Porquerolles depuis le Fort Ste-Agathe (nuit de pleine lune fin janvier 2016).....	17
Figure 17 : Le Cadran des progrès de l'ANPCEN avec ses 4 étiquettes environnementales complémentaires pour évaluer la qualité environnementale de l'éclairage extérieur.....	18
Figure 18 : Illumination de la façade de l'église Ste Anne avec une luminance supérieure à 10 cd/m ² , mesurée à 1m50 de hauteur	21
Figure 19 : Projecteurs 3X150W avec canaliseur de flux, de chaque côté de l'église.....	21
Figure 20 : Vue de côté de l'éclairage de la façade avec les faisceaux issus des projecteurs bien visibles	22
Figure 21 : De bas en haut au tiers droit de l'image : flux réfléchi par l'illumination de la façade de l'église (non visible en contrebas) envoyé vers le ciel - vue depuis l'IGESA à 100m de l'église ; la voie lactée d'été est faiblement visible à gauche (en jaune à droite : parasols repliés)	22
Figure 22 : Vue du Fort Ste Agathe illuminé (image agrandie à droite) depuis le bout de la digue du port (site de mesure P15 le 3 août 2016 à 2h du matin). Le halo lumineux visible sur l'image de gauche au même endroit et englobant l'illumination du fort provient en fait principalement des luminaires du port installés le long du môle central jusqu'à la capitainerie.	22
Figure 23 : Trois modèles différents de luminaires installés sur le périmètre du port de Porquerolles. De gauche à droite : triple « boules lumineuses » équipées de lampes à vapeur de mercure haute pression, luminaire « Spike » équipé d'une lampe aux iodures métalliques et luminaire « Johanna » équipé d'une lampe au sodium haute pression.....	23
Figure 24 : Les deux principaux types de bornes lumineuses utilisées pour les pontons flottants (à gauche), ainsi qu'une vue du quai A du port avec une allée de luminaires « boules » vétustes.....	24
Figure 25 : Mise en lumière des palmiers de la Capitainerie du Port par des projecteurs à LEDs, au sol, éclairant donc de bas en haut.	24
Figure 26 : Vue du port de Porquerolles et de l'IGESA depuis le Fort Ste-Agathe	25
Figure 27 : Vue du port de Porquerolles depuis la Tour Fondue sur la pointe de la presque-île de Giens (située à 4,5 km de distance), en basse saison par temps brumeux (image en haut) et en haute-saison par ciel clair (image en bas).....	25
Figure 28 : Vue du port de Porquerolles et de l'ensemble de l'île (à 15km de distance) en arrière-plan depuis le Château d'Hyères (en haut) et sa version légendée (en bas) en haute-saison.....	26
Figure 29 : Panorama de la place d'Armes en haute-saison en début de soirée.....	28
Figure 30 : Zoom sur certaines zones autour de la place d'Armes en haute-saison en début de soirée	29
Figure 31 : Mise en lumière d'eucalyptus (à gauche) et éclairage récemment installé pour les terrasses de restaurants (à droite).....	30
Figure 32 : A gauche : panorama à proximité de l'entrée de l'IGESA illustrant les pertes de flux et les illuminations des façades et des arbres. A droite : cour intérieure de l'IGESA avec des lanternes de styles avec ampoule verticale éclairant l'arbre jusqu'à sa cime ainsi que les façades des appartements en location	30
Figure 33 : Résidence de vacances - rue du Langoustier : les luminaires « boules » utilisés éclairent fortement les arbres et façades des différents appartements.....	31
Figure 34 : Navires au mouillage le long de la plage Notre Dame au premier plan à gauche (à 1,5 km) avec en limite de crête le sémaphore, vue sur le port de Porquerolles au centre (à 4 km) avec le halo orangé du village, et autres navires au mouillage le long de la plage d'Argent à droite (à 4,7 km), vue depuis la pointe des Mèdes (site P3b, carte p. 9, août 2016).....	32
Figure 35 : Vue des navires au mouillage, à gauche le long de la plage Notre Dame (à 300m, site P3c, carte p. 9, août 2016) et à proximité de la pointe du Pin à droite où sont également visibles les émissions lumineuses de la Londe-les-Maures et le halo lumineux de Bormes-les-Mimosas et du Lavandou (site P4b, carte p. 9, août 2016)	32

Figure 36 : Effets du phare de Porquerolles (éclat maximal en vision directe à droite) visible depuis le Fort Ste Agathe (1,8 km) par nuit de pleine lune éclairant les nuages.....	33
Figure 37 : Evolution de l'éclairage public en France entre 1960 et 2015 et objectifs nationaux recommandés par l'ANPCEN pour 2015-2025-2050	34
Figure 38 : Cartographie-ANPCEN© de la qualité de la nuit en France en 2015	35
Figure 39 : Diagramme en boîte représentant la distribution statistique des mesures pour les différents sites en basse-saison.....	37
Figure 40 : Répartition des variations de qualité de la nuit mesurée pendant la période de nuit noire en mars et avril pour chaque instrument de mesures automatiques installé sur Porquerolles et le continent.....	39
Figure 41 : Evolution de l'indice de qualité de la nuit suivant l'heure pour l'ensemble des sites mesurés en basse saison par ciel clair.....	40
Figure 42 : Evolution de la qualité de la nuit à proximité du zénith pour le site du Castel St Claire à Hyères pendant la nuit du 4 au 5 mai 2016. La courbe d'évolution pendant la période de nuit noire est tracée en noire et celle en bleue correspond à la période de crépuscule.....	41
Figure 43 : Evolution de l'indice de qualité de la nuit suivant l'heure pour les sites de Porquerolles en zones naturelles en basse saison par ciel clair	42
Figure 44 : Evolution de l'indice de qualité de la nuit suivant l'heure pour l'ensemble des sites mesurés en basse saison par ciel nuageux	43
Figure 45 : Evolution de l'indice de qualité de la nuit suivant l'heure pour les sites de Porquerolles en zones naturelles en basse saison par ciel nuageux.....	44
Figure 46 : Facteur d'amplification du niveau relatif de luminance mesuré en présence de couverture nuageuse suivant l'heure pour l'ensemble des sites mesurés en basse saison. 45	
Figure 47 : Halo lumineux produit par le parc d'attraction du Magic World en août 2016 vers 0h. A gauche, vue depuis le site H3, carte page 9, de la plage des Salines (4km). A droite, vue depuis l'entrée des Salins des Pesquiers (2km) proche du site H6, carte page 9, de la presque-île de Giens.....	46
Figure 48 : Evolution de l'indice de qualité de la nuit suivant l'heure pour l'ensemble des sites mesurés en haute saison par ciel clair	47
Figure 49 : Evolution de l'indice de qualité de la nuit suivant l'heure pour les sites de Porquerolles en zones non urbanisées, en haute saison par ciel clair	48
Figure 50 : Evolution de la qualité de la nuit à proximité du zénith pour la base voile de Porquerolles pendant la nuit du 2 au 3 septembre 2016. La courbe d'évolution pendant la période de nuit noire est tracée en noire et celle en bleue correspond à la période de crépuscule.....	48
Figure 51 : Panoramas ANPCEN© réalisés pour différents sites dans les zones non urbanisées de Porquerolles en basse-saison.....	51
Figure 52 : Photographies nocturnes pointant en direction du zénith sur le périmètre des zones urbanisées	54
Figure 53 : Paysage nocturne visible depuis le site P5, carte page 9, au Sud de l'île en basse saison : la voie lactée d'hiver est perceptible à gauche au-dessus de la constellation d'Orion. Mais il y a aussi clairement un halo lumineux visible jusqu'à 30° de hauteur dans la direction Ouest Nord-Ouest provenant de Toulon et Hyères.....	54
Figure 54 : Panoramas ANPCEN© réalisés pour différents sites dans les zones non urbanisées de Porquerolles en haute-saison	56
Figure 55 : Carte de la qualité de la nuit ANPCEN© de l'île en basse saison prenant en compte les émissions lumineuses provenant seulement des sources sur l'île et zoom sur le village de Porquerolles	58
Figure 56 : Carte de la qualité de la nuit de l'île de Porquerolles en basse saison ne prenant en compte que les émissions lumineuses provenant du continent.....	60
Figure 57 : Carte de la qualité de la nuit ANPCEN© de l'île de Porquerolles en basse saison et en début de nuit.	61

Figure 58 : Carte de la qualité de la nuit ANPCEN© de l'île de Porquerolles en haute-saison : les principales évolutions des niveaux de pollution par rapport à la période basse-saison sont indiquées par les flèches noires	62
Figure 59 : Zoom sur l'évolution du niveau de qualité de la nuit en haute-saison dans le village de Porquerolles et à la plage d'Argent.....	63
Figure 60 : Zoom sur l'évolution du niveau de la qualité de la nuit en haute-saison le long de la côte Nord de l'île de Porquerolles causé par les navires au mouillage, repérés par des points sur la carte du haut. Zoom sur la contribution directe des feux de mouillages des bateaux au niveau de qualité de la nuit sur la carte du bas	63
Figure 61 : Illustrations de 2 espèces de lépidoptères hétérocères présentes sur Porquerolles	64
Figure 62 : Contours du réservoir de biodiversité défini dans le SRCE de la région PACA (en vert) et contours du cœur marin défini dans le périmètre du PNPC (en bleu) pour l'île de Porquerolles.	66
Figure 63 : Illustrations de 2 espèces de chiroptères présentes sur Porquerolles	67
Figure 64 : Position des différents points d'écoute mis en place par le PNPC, dans le cadre du programme Vigie-Chiro, pour les saisons 2015 et 2016. En arrière-plan la cartographie-Anpcen© de qualité de nuit, en haute saison et une image satellite de Porquerolles illustrant les différents types de milieux rencontrés.....	68
Figure 65 : Projection de la carte de qualité de nuit de l'île de Porquerolles, après réduction de la puissance installée des lampes afin de supprimer les sur-éclairagements	71
Figure 66 : Zoom sur le village de Porquerolles avant et après la réduction de la puissance installée des lampes	71
Figure 67 : Projection de la carte de qualité de nuit de l'île de Porquerolles après la conversion totale du parc d'éclairage extérieur (village+port+éclairages privés) sans émission directe de lumière au-dessus de l'horizontale (ULOR=0%).....	73
Table 1 : Evaluation pour 2 rues de Porquerolles du niveau atteint pour chaque étiquette du cadran des progrès de l'ANPCEN, complétée par une synthèse des émissions lumineuses	19
Table 2 : Chiffres clés pour l'ensemble de l'éclairage public de Porquerolles (hors espace portuaire) avec un focus sur la quantité globale de lumière émise	20
Table 3 : Chiffres clés pour l'ensemble de l'éclairage du Port de Porquerolles (hors espace portuaire) avec un focus sur la quantité globale de lumière émise	27
Table 4 : Eclairagements moyens au niveau du sol pour différents lieux et fonctionnalités et estimation du nombre d'étoiles observables à l'œil nu par les habitants	35
Table 5 : Calendrier des campagnes de mesures de la qualité de la nuit en basse et haute saison	36
Table 6 : Mesures de l'indice de qualité de la nuit dans différentes directions, et calcul de l'indice global moyen de qualité de la nuit pour les principaux sites de l'île de Porquerolles en basse saison	52
Table 7 : Mesures de l'indice de qualité de la nuit dans différentes directions et calcul de l'indice global moyen de qualité de la nuit pour les principaux sites de l'île de Porquerolles en haute-saison.....	55
Table 8 : Comparaison des mesures de qualité de la nuit pour différents sites effectuées en basse-saison avec l'indice de qualité de la nuit ne prenant en compte que les émissions lumineuses de Porquerolles	59
Table 9 : Contribution individuelle des principales communes du littoral à la pollution lumineuse mesurée pour les différents sites prospectés de Porquerolles.....	60
Table 10 : Espèces présentes sur l'île de Porquerolles avec une activité nocturne marquée	65
Table 11 : Situation actuelle de l'éclairage public de l'île de Porquerolles par rapport aux différentes étiquettes environnementales du cadran des progrès ANPCEN.....	70