



## MARCHE PUBLIC DE PRESTATION INTELLECTUELLE

### Cahier des Clauses Techniques Particulières

2024-PNR-33

### ACQUISITION D'IMAGERIE NOCTURNE ET MODELISATION DE LA POLLUTION LUMINEUSE POUR LE PARC NATIONAL DE LA REUNION

#### Date limite de remise des offres

**16 janvier 2025 à 16h00 (heure locale)**

<b>Pouvoir adjudicateur</b>	Parc National de la Réunion 258 Rue de la République 97431 LA PLAINE DES PALMISTES
<b>Représentant du pouvoir adjudicateur</b>	Le Directeur du Parc national de la Réunion Monsieur DELORME Jean-Philippe
<b>Renseignement d'ordre administratif :</b>	Secrétariat Général
<b>Renseignement d'ordre technique :</b>	Anthony Dofal – Chargé de mission du Programme des Jours de la Nuit

## Table des matières

Article 1 - Contexte .....	3
Article 2 – Définitions des termes.....	4
Article 3 – Territoire d'étude .....	4
Article 4 - Objet de la présente consultation .....	4
Article 5 – Gouvernance.....	5
Article 6 - Description technique des besoins.....	6
Article 7 - Restitution des résultats.....	11
Article 8 – Livrables .....	11
Article 9 – Phasage, planning de réalisation et durée de la prestation .....	13

Le présent cahier des clauses techniques particulières concerne une prestation d'acquisition, de traitement et d'analyse d'imagerie nocturne très haute résolution, l'analyse de données d'éclairage et la construction d'un modèle dynamique de pollution lumineuse pour le Parc national de La Réunion.

## Article 1 - Contexte

Historiquement, le Parc national de La Réunion est un acteur majeur de la lutte contre la pollution lumineuse à La Réunion. Entre 2011 et 2019, il a porté dans le cadre d'un partenariat large avec les collectivités et associations, une opération ponctuelle d'extinction de l'éclairage appelée « Nuits Sans Lumière ». Cette opération avait pour objectif d'empêcher les jeunes individus d'oiseaux marins et endémique de La Réunion de s'échouer (pétrels de Barau). En cause, la pollution générée par la lumière artificielle publique et privée.

En 2019, des ateliers territoriaux ont été menés avec l'ensemble des partenaires de cette opération : ils s'accordèrent sur la nécessité de sortir d'une vision monospécifique pour intégrer l'ensemble des enjeux de la pollution lumineuse (santé, cadre de vie, biodiversité, énergie, etc.) et d'étendre ce travail à l'année pour lutter plus efficacement contre la pollution lumineuse sur l'île.

C'est ainsi que naît en 2020, le programme « Les Jours de la Nuit » porté par le Parc national de La Réunion. Les objectifs du Programme des Jours de la Nuit sont d'améliorer l'état des connaissances sur les environnements nocturnes, sensibiliser à leur préservation et accompagner les acteurs du territoire pour améliorer la qualité des environnements nocturnes.

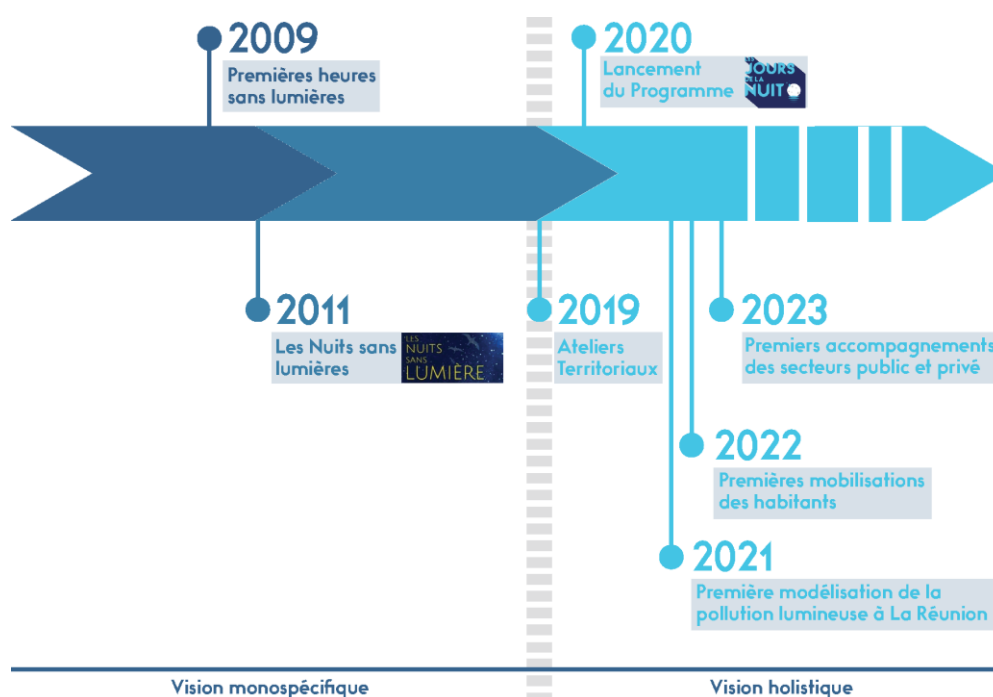


Figure 1 : Historique de la prise en compte de la pollution lumineuse à La Réunion et évolution de l'approche (vision monospécifique avant 2019, puis vision holistique).

En 2021, une première étude de modélisation de la pollution lumineuse a été réalisée pour 5 parcs nationaux à travers un financement de l'Office Français de la Biodiversité. Celle-ci a permis de poser les bases d'une stratégie aujourd'hui déployée dans le cadre du programme des Jours de la Nuit. Cette étude a été actualisée fin 2023.

La présente consultation intervient dans le cadre de la mise en œuvre de la convention entre le Ministère de la Transition Ecologique et de la Cohésion des Territoires (MTECT) et le Parc national de La Réunion portant sur le financement du Programme des Jours de la Nuit 2024-2026.

Ce soutien financier du MTECT se fait en cohérence avec l'engagement des Parcs nationaux de France à décliner territorialement les mesures opérationnelles de la Stratégie Nationale Biodiversité 2030 dont certaines visent à réduire la pression sur la biodiversité.

Cette consultation s'inscrit donc dans la continuité des actions engagées et dans une démarche portée nationalement.

Cette étude permettra de répondre en partie aux objectifs d'amélioration de l'état des connaissances sur les environnements nocturnes réunionnais.

Les résultats de ce projet seront valorisés, diffusés régionalement, nationalement et au sein du réseau des espaces protégés par le Parc national de La Réunion.

## Article 2 – Définitions des termes

Dans le présent appel d'offre, il est entendu par :

- **Maître d'ouvrage** : l'entité porteuse du besoin qui définit l'objectif du projet, son calendrier et le budget consacré à ce projet. Le maître d'ouvrage est le Parc national de La Réunion
- **Prestataire(s)** : le ou les personne(s) morale(s) en charge de la prestation,
- **Pilote(s) interne(s)** :
  - Monsieur Jean-Philippe DELORME – Directeur du Parc national de La Réunion
  - Madame Laetitia Aubry – Responsable du Service Pédagogie et Sensibilisation des Publics du Parc national de La Réunion
  - Monsieur Anthony DOFAL – Chargé de mission sur le Programme des Jours de la Nuit au sein du Service Pédagogie et Sensibilisation des Publics du Parc national de La Réunion

## Article 3 – Territoire d'étude

Le projet concerne l'entièreté du territoire réunionnais dans et en dehors du périmètre du Parc national de La Réunion. L'entièreté du territoire réunionnais est entendue comme s'étendant de la limite externe des masses d'eau côtières jusqu'aux sommets de l'île.

## Article 4 - Objet de la présente consultation

Le Parc national de La Réunion, maître d'ouvrage, souhaite recourir à une prestation pour une étude comportant quatre volets :

- Volet 1 : Acquisition et prétraitement d'imagerie nocturne haute résolution :
  - L'acquisition d'imageries nocturnes haute résolution
  - Traitement des imageries nocturnes haute résolution
- Volet 2 : Acquisition, bancarisation et analyse de données comprenant :
  - Bilan de l'éclairage artificiel à l'échelle du territoire et son analyse
  - Analyse d'imagerie nocturne haute résolution
- Volet 3 : Modélisation dynamique de la pollution lumineuse à La Réunion :
  - La réalisation d'une modélisation dynamique de la pollution lumineuse à l'échelle du territoire de La Réunion comprenant notamment l'intégration des données d'imageries nocturne précitées, de mesures ponctuelles de brillance du ciel zénithale et de données de parc d'éclairage.
- Volet 4 : Analyse de la pollution lumineuse à La Réunion
  - La définition d'indicateurs pour suivre à court, moyen et long terme, l'évolution de la pollution lumineuse et les résultats des simulations.
  - La définition d'indicateurs pour suivre la contribution à la pollution lumineuse des acteurs du territoire.

La présente mission sera allotie en 3 lots comme suit :

- Lot 1 : Acquisition et traitement d'imagerie nocturne haute résolution (volet 1)
- Lot 2 : Bancarisation, analyses de données d'éclairage et analyse d'imagerie nocturne haute résolution (volet 2)
- Lot 3 : Modélisation dynamique de la pollution lumineuse à La Réunion et analyses (volets 3 et 4)

## Article 5 – Gouvernance

Le projet sera piloté par le maître d'ouvrage. Un groupe de travail technique sera informé et consulté durant la totalité de la mission. Un comité des partenaires sera également constitué pour diffuser les avancées et les besoins de la présente mission.

Le **groupe de travail technique** est chargé du suivi du projet à toutes les étapes pour les 3 lots. Il est composé des techniciens du Parc national de La Réunion (Service Systèmes d'informations, Service Préservation des Patrimoines Naturels, Service Pédagogie et Sensibilisation des Publics, etc.) et de représentants des institutions réunionnaises. Il pourra être complété, autant que de besoin, par des experts issus d'autres structures.

Le ou les prestataires devront participer, (*par visioconférence*), aux groupes de travail (deux à trois réunions sont à prévoir par an). Dans le cas où, les lots sont attribués à deux prestataires différents, il sera demandé aux prestataires de participer aux groupes de travail du lot le concernant ainsi qu'aux groupes de travail des autres lots afin de garantir une bonne coordination entre les prestataires et un travail cohérent entre les lots. Des temps d'échange spécifique entre les prestataires et le maître d'ouvrage pourront être demandé (à la demande du maître d'ouvrage et des prestataires).

Le **comité des partenaires** est constitué du ou des prestataires, de représentant d'institutions réunionnaises, de fournisseurs de données, de financeurs à la rénovation d'éclairage, fournisseur d'énergies, aménageurs, etc. Ce comité sera constitué par le Parc national de La Réunion. Le rassemblement du comité des partenaires aura pour objectif de diffuser, la méthodologie employée, l'état d'avancement de l'étude, les résultats obtenus, les difficultés rencontrées ainsi que les pistes de développement. Ce comité des partenaires permettra également de formuler les besoins nécessaires à l'étude (ex : accessibilité aux données, l'actualisation des données, etc.).

Le ou les prestataires devront participer aux comités des partenaires (en visioconférence) à raison de deux à trois réunions par an en fonction de l'avancée des travaux.

Le **pilotage** de l'étude sera réalisé par le maître d'ouvrage (Directeur du Parc national de La Réunion et services techniques) et permettra de valider les étapes clés de l'étude. Une réunion de lancement sera organisée au démarrage de l'étude. Les réunions de pilotage seront ensuite réalisées à un stade intermédiaire et au moment du rendu final de l'étude. Le ou les prestataires participeront à ces réunions de pilotage en visioconférence.

L'organisation et l'animation des réunions du groupe de travail technique, du comité des partenaires et des réunions de pilotage seront de la responsabilité du prestataire sous la supervision du maître d'ouvrage. Les supports de réunion et comptes rendus de réunion (groupe de travail technique, comité des partenaires et réunion de pilotage) seront rédigés par le prestataire sous l'autorité de la maîtrise d'ouvrage.



### **6.1.2 Traitements d'imageries nocturnes haute résolution**

La donnée collectée devra bénéficier de pré-traitements nécessaires à sa bonne exploitation tels que l'orthorectification, le géoréférencement dans le système de projection EPSG :2975 – RGR92 / UTM zone 40S, la fusion des dalles, la calibration radiométrique, etc.

**Une présentation de la chaine de traitement prévisionnelle ainsi que des limites ou potentielles difficultés méthodologiques sont demandées.**

Un fichier numérique exploitable dans un logiciel d'information géographique du type TIFF ou ECW devra être livré durant l'étude. Le bon compromis poids/restitution devra être trouvé. Les données sources devront également être fournies.

Des données pourront être fournies afin de servir de point de calage pour le géoréférencement des imageries satellites nocturnes (données de points lumineux, etc.).

## 6.2 Lot 2 : Analyse d'imagerie nocturne haute résolution, bancarisation, analyses de données d'éclairage.

Les objectifs fixés pour ce lot sont :

- Analyses d'imagerie nocturne haute résolution
- La réalisation d'un bilan de l'éclairage artificiel à l'échelle du territoire comprenant l'acquisition, la bancarisation et l'analyse des données d'éclairage

### 6.2.1 Analyse d'imagerie nocturne haute résolution :

Les données d'imagerie nocturne haute résolution devront être analysées selon le phasage de la mission défini en Article 9.

Ci-dessous, sont indiquées les analyses des imageries collectées et traitées attendues :

- La visibilité des sources lumineuse à plusieurs hauteurs prenant en compte les effets de masquage (ex : le bâti, la végétation, la topographie, etc.)
- L'extraction des sources lumineuses (publiques et privées)
- La classification des sources lumineuses par type d'acteur\*
- Orthophotographie « filtrée » par type de parc d'éclairage public et privé. Potentiellement d'autres filtres par types de parc d'éclairage pourraient être envisagées (intercommunalités, bailleurs sociaux, zones d'activités, etc.)
- La classification des sources lumineuses en fonction de leur contribution au halo lumineux
- L'analyse de la contribution à la pollution lumineuse par type d'acteur\*
- L'extraction des éclairages public et privé du type « boule »

Les données d'éclairage public traitées et bancarisées (6.2.2) devront être utilisées pour vérifier la conformité des analyses de l'orthophotographie nocturne.

Le prestataire proposera au Parc national des cartographies et analyses utiles et prenant en compte les avancées technologiques dans la télédétection (ex : utilisation de l'intelligence artificielle - parcellisation, etc.).

\*La liste des types d'acteur sera à minima constituée des : centres commerciaux, industriels, habitants, équipements sportifs public, équipements sportifs privés, éclairage public communaux et d'intercommunalités (cette liste pourra être amendée sur proposition du prestataire et de la maîtrise d'ouvrage).

### 6.2.2 Bilan de l'éclairage artificiel à l'échelle du territoire

Le bilan de l'éclairage artificiel à l'échelle du territoire doit permettre d'obtenir une information harmonisée à l'échelle de la région Réunion afin que celle-ci puisse servir la politique d'aménagement lumière du territoire. Pour cela, la donnée sera récoltée auprès des partenaires, bancarisée et analysées comme suit :

- **Acquisition/récolte** auprès des fournisseurs de données des données d'éclairage :
  - Un échange par visio/téléphone avec le Parc national de La Réunion, le Syndicat d'électrification de La Réunion (SIDELEC) ou toutes autres structures détentrices des données d'éclairage (communes, intercommunalités, etc.) pour faire le point sur les données disponibles (*trois points bilatéraux minimum à prévoir*) et récolter les pratiques d'éclairage (extinction nocturne, abaissement, etc.)
    - Le Parc national de La Réunion sera en charge du conventionnement de mise à disposition des données entre le fournisseur de donnée et le Parc national. Une convention sera également signée entre le prestataire et le Parc national de La Réunion.
- **Bancarisation :**
  - Harmonisation des formats et construction d'une table attributaire commune en vue d'une intégration dans un logiciel d'information géographique (*prévoir un point d'échange pour la construction de la table attributaire en vue d'une intégration à la base de données du Parc national de La Réunion*).



- Une actualisation annuelle de la base de données éclairage harmonisée (point précédent) pour intégration dans l'actualisation de la modélisation de pollution lumineuse annuelle (Lot 3).
- **Analyse des données :**
  - Une note présentant l'état des lieux des données disponibles comprenant des tables, graphique, et cartes de synthèse.
  - L'analyse statistique détaillée de l'éclairage (quand les données le permettront) rappelant la puissance des lampes, les types de lampe, les ULOR, température de couleur, etc.
  - La production de cartes thématiques (technologies, puissances installées, etc.) à l'échelle communale et du territoire d'étude

### 6.3 Lot 3 : Modélisation dynamique de la pollution lumineuse à La Réunion et analyses.

Les objectifs fixés pour ce lot sont :

- L'analyse de données de brillance du ciel
- La conception d'une modélisation dynamique de la pollution lumineuse en extrémité et cœur de nuit et sous condition nuageuse,
- L'analyse de la modélisation de la pollution lumineuse à La Réunion,

#### Note de cadrage :

Il est demandé en amont de la production des modèles de pollution lumineuse d'établir une note de cadrage qui permettra de définir de manière précise :

- Les étapes de réalisation comprenant le calendrier et délais
- Les besoins d'accès à certaines données
- Les potentielles limites des modélisations
- Les hypothèses des modèles extrémités et cœur de nuit
- Les hypothèses des modèles en situation nuageuse
- Les hypothèses permettant l'intégration du relief et de la végétation dans les modélisations

Les éléments indiqués dans cette note de cadrage feront l'objet de discussions entre le Parc national de La Réunion et le prestataire. Cette note de cadrage servira de cadre sur lequel les travaux de modélisation enclenchés par la suite se baseront.

#### 6.3.1 Modélisation dynamique de la pollution lumineuse à La Réunion

- **Modélisation dynamique de la pollution lumineuse :**

Une modélisation de la pollution lumineuse dynamique à l'échelle du territoire sera réalisée. Cette modélisation devra prendre en compte les données d'éclairage disponibles et harmonisées (Lot 2), l'orthophotographie nocturne (Lot 1), les données de radiance satellite open data, les données open data de brillance du ciel zénithale du réseau Tess4all (<https://tess.dashboards.stars4all.eu/>) déployé à La Réunion\* et toutes données jugées utiles pour une modélisation fine et optimale de la pollution lumineuse. La liste pourra être amendée avec le prestataire.

**Une attention particulière est attendue pour la prise en compte des effets de masquage pouvant être liés à la topographie de l'île et la végétation. Les paysages de La Réunion étant très fortement marqués par les reliefs (rempart de 1000 m, cirques et ravines encaissées).**

Il est attendu que la modélisation puisse être actualisée durant la totalité de la mission dès lors qu'une nouvelle donnée d'entrée est disponible (données de radiance satellite – zone n°1 à 3, données ponctuelles d'éclairage, nouvelle donnée de brillance du ciel). **Le caractère dynamique de la modélisation réside dans cette capacité à actualiser le modèle au fil de l'eau. Une modélisation actualisée devra être produite à minima 1 fois par an durant la totalité de la mission.**

Afin de tenir compte de l'extinction et/ou des baisses d'intensité éventuelles des éclairages publics et privées, la modélisation devra permettre de visualiser :

- la pollution lumineuse en extrémité de nuit,
- la pollution lumineuse en cœur de nuit (*prise en compte des extinctions et/ou abaissements nocturnes*).

La définition des périodes « extrémité de nuit » et « cœur de nuit » se fera en accord avec les pratiques d'éclairage nocturnes identifiées par le Lot 2 (heure d'extinction et/ou d'abaissement).

Lorsque ceux-ci existent, il est également demandé au prestataire de réaliser une comparaison avec des diagnostics territoriaux produits antérieurement, des bases de données antérieures, de manière à constituer d'ores et déjà un suivi de l'évolution de la pollution lumineuse sur les territoires concernés.

- **Traitement et analyses des données de brillance du ciel :**

L'intégration de données de brillance du ciel open data est également attendue. Cette intégration se fera après un prétraitement de ces données (phases lunaires, couverture nuageuse, moyenne annuelle, etc.). Le prestataire devra proposer des prétraitements pouvant être mis en place avant l'intégration des données. Ces données de brillance du ciel devront être utilisées comme point de calage pour les modèles de pollution lumineuse.

- **Modélisation de la pollution lumineuse par temps nuageux :**

Une modélisation de la pollution lumineuse par temps nuageux est également attendue. Pour cela, les hypothèses et les moyens d'atteindre cette modélisation seront discutés avec le maître d'ouvrage. Un appui sur la littérature scientifique existante est un préalable et les limites des hypothèses posées devront être clairement décrites. Des données de brillance du ciel et de nébulosité seront à minima utilisées. Cette modélisation spécifique pourra concerner tout ou partie du territoire. Les résultats devront prendre la forme de cartes (modélisation sans et avec nébulosité) et d'indicateurs permettant de quantifier d'après le modèle l'effet de la nébulosité sur la diffusion de la lumière.

\* Ce réseau de capteurs est déployé par d'autres opérateurs que le Parc national de La Réunion, à savoir : l'Observatoire de l'Environnement Nocturne (CNRS) et la Société d'Etude Ornithologique de La Réunion.

### 6.3.2 Analyse de la pollution lumineuse à La Réunion

**Les modèles de pollution lumineuse obtenus précédemment (7.3.1) devront faire l'objet de plusieurs analyses, à savoir :**

- Quantifier la superficie de différente classe de pollution lumineuse pour l'extrémité et le cœur de nuit pour l'ensemble du territoire réunionnais, par commune et intercommunalité. Un atlas cartographique est attendu.
- Un suivi de l'évolution chronologique de la pollution lumineuse devra être conduite (comparaison avec les études précédentes et suivre l'évolution durant la totalité de la mission suite aux actualisations)
- Il est attendu que le prestataire réalise des propositions d'indicateurs de suivi (ces indicateurs peuvent être de différentes natures : cartographique, chiffrés, ...) de la pollution lumineuse à toutes les échelles (microrégions, intercommunalités, communes, etc.). Ces critères rendront compte de l'évolution de la pollution lumineuse pour chaque actualisation du modèle réalisé.
- Une quantification de l'effet de la nébulosité sur la pollution lumineuse.
- Une analyse par rapport aux critères d'obtention d'un label Réserve Internationale du Ciel Etoilé (RICE) et faire à minima une proposition d'un plan d'actions et d'amélioration permettant de prétendre à ce label international

Ces analyses devront être répliquables et actualisables pour chacune des mises à jours des modèles de pollution lumineuse.

## 6.4 Présentation des résultats

***Ce qui est détaillé ci-dessous, est entendu pour l'ensemble des lots, que ceux-ci soient attribués ou non au même prestataire. Dans le cas où les lots sont attribués à des prestataires différents, une mise en cohérence des formats et mise en page des livrables des trois lots devra être réalisée.***

Afin de favoriser l'appropriation des enjeux et des résultats de l'étude par les collectivités, les habitants, les acteurs économiques, le ou les prestataires devront proposer un rendu didactique et pédagogique. Ce rendu prendra à minima la forme :

- d'un rapport d'étude complet,
- d'une synthèse simplifiée à destination des élus et non-initiés,
- d'une présentation PowerPoint pédagogique à utiliser dans le cadre de réunions publiques
- d'un projet Lizmap comprenant les données acquises (orthophotographies) et leur analyses au format vecteur et les modélisations de la pollution lumineuse (annuelle, cœur et extrémité de nuit) – Le projet Lizmap sera co-construit avec le Parc national.

Le ou les prestataire(s) seront libre(s) de proposer d'autres formes de rendu et de valorisation du travail qu'il aura entrepris. La forme de ces rendus devra néanmoins être transférable afin que les agents du Parc national de La Réunion ou ses partenaires puissent le présenter aux élus, entreprises et aux habitants de façon autonome sans l'aide du prestataire lorsque la mission sera terminée.

Un temps est à prévoir pour assurer la « *formation* » des agents pour qu'ils puissent s'approprier le contenu et réaliser des actualisations mineures des bases de données.

## Article 7 - Restitution des résultats

Les résultats de l'étude seront présentés en comité des partenaires en présence du ou des prestataires. Le coût du déplacement devra être **rationnalisé**.

## Article 8 – Livrables

Ci-dessous sont listés les livrables attendus pour chacun des lots.

### 8.1 Lot 1 : Acquisition et traitement d'imagerie nocturne haute résolution

- Un rapport incluant :
  - Les paramètres d'acquisition et du capteur
  - Les plans d'acquisition
  - Une présentation de la chaîne de traitements
  - Un récapitulatif des données produites

*Pour chacun des points ci-dessus, il sera demandé d'explicitier les limites et/ou difficultés rencontrées et proposer des pistes pour pallier à ces limites. Dès que possible, chacune des parties devra être appuyées par des références bibliographiques techniques et/ou scientifiques.*

- Le fichier raster de l'orthophotographie nocturne pré-traitée
- Les données brutes acquises

### 8.2 Lot 2 : Analyse d'imagerie nocturne haute résolution, bancarisation, analyses de données d'éclairage

- Un rapport incluant :
  - Un récapitulatif des données utilisées ;
  - Les méthodologies mises en œuvre et leurs limites ;
  - Une analyse statistique détaillée de l'éclairage rappelant la puissance des lampes, les types de lampe, les ULOR, etc. ;

- Un atlas de cartes de localisation de l'éclairage public et thématiques (technologies, puissances installées, etc.) à l'échelle communale ;
- Une analyse de la contribution à la pollution lumineuse par type d'acteur

*Pour chacun des points ci-dessus, il sera demandé d'explicitier les limites et/ou difficultés rencontrées et proposer des pistes pour pallier à ces limites. Dès que possible, chacune des parties devra être appuyées par des références bibliographiques techniques et/ou scientifiques.*

- Les fichiers raster produit durant l'étude (orthophotographie nocturne « filtrée » par type de parc d'éclairage, etc.)
- Une couche vecteur possédant une table attributaire harmonisée des données d'éclairage récoltées auprès des fournisseurs (public et privé) au format Shapefile (.shp) et leurs analyse (contribution au halo lumineux, etc.)
- Une couche vecteur possédant une table attributaire harmonisée des points lumineux extrait de l'orthophotographie et leur analyse (contribution au halo lumineux, classification par type d'acteur\*, etc.)
- Une couche vecteur des points lumineux privés extrait de l'orthophotographie et leur analyse (contribution au halo lumineux, classification par type d'acteur, etc.)
- Une carte présentant l'adéquation ou la non-adéquation entre les points lumineux public extrait de l'imagerie nocturne et les points lumineux public issus de la base de données harmonisée
- Les fichiers de symbologie pour les couches vectorielles et rasters

\*La liste des types d'acteur sera à minima constituée des : centres commerciaux, industriels, habitants, équipements sportifs public, équipements sportifs privés, éclairage public communaux et d'intercommunalités (cette liste pourra être amendée sur proposition du prestataire et de la maîtrise d'ouvrage).

### **8.3 Lot 3 : Modélisation dynamique de la pollution lumineuse et analyses.**

- Un rapport incluant :
  - La méthodologie du traitement des données de brillance du ciel et ses limites
  - Une synthèse bibliographique de la modélisation de la pollution lumineuse
  - La méthodologie de la modélisation de la pollution lumineuse et ses limites ;
  - Un récapitulatif des données utilisées ;
  - Des cartes de la pollution lumineuse en extrémité et cœur de nuit actualisées durant la mission (en condition nuageuse ou non)

*Pour chacun des points ci-dessus, il sera demandé d'explicitier les limites et/ou difficultés rencontrées et proposer des pistes pour pallier à ces limites. Dès que possible, chacune des parties devra être appuyées par des références bibliographiques techniques et/ou scientifiques.*

- Les fichiers raster de la modélisation de la pollution lumineuse en extrémité et cœur de nuit
- Les fichiers raster de la modélisation de la pollution lumineuse en condition nuageuse
- Les fichiers de symbologie pour les couches vectorielles et rasters

### **8.4 Rapport d'activité, métadonnées, formes, formats des livrables (Lot 1, Lot 2 et Lot 3)**

Un compte-rendu d'activités présentant les actions réalisées et le nombre de jours dédiés (à *mi-parcours et en fin de mission*) est demandé.

Dans tous les documents livrés, une attention particulière devra être apportée aux représentations sous formes de schémas, tableaux, graphiques et cartographies ainsi qu'aux illustrations photographiques. Des encarts explicatifs synthétiques devront également être intégrés. Les documents cartographiques devront être fournis à une échelle permettant une compréhension aisée des thématiques présentées.

En plus des livrables attendus le prestataire devra fournir les couches d'information qui ont permis de réaliser les cartes réalisées. Ces données brutes seront fournies au format SIG vecteur (shape). Les couches raster seront

fournies au format image d'origine et vectorisées (format shape avec données attributaires, et TIFF ou ECW). Une fiche de métadonnées sera associée à chaque couche d'information fournie. Ces métadonnées préciseront les objectifs et les méthodes de production de la couche, les attributs et leurs différentes valeurs, les limites d'utilisation des données.

**Les métadonnées devront également être intégrées dans les propriétés des fichiers (Shape et Raster).**

Les données SIG devront également être livrées dans un ou plusieurs projets QGIS.

Ces livrables seront remis sous format numérique pour chacun des documents produits dans le cadre de la mission. Les documents devront être remis sous forme reproductible (*impression possible*).

Ces fichiers seront fournis dans leur version d'origine, compatible avec les logiciels Microsoft Office (*Word, Excel, incluant les formules de calcul le cas échéant, Powerpoint, etc.*), et pour les cartes et rapports finaux, également en version PDF.

Le prestataire s'assurera de la compatibilité des formats informatiques avec ceux utilisés par le Parc national de La Réunion et les conversions utiles seront envisagées le cas échéant.

Tous les documents et fichiers (*SIG entre autres*) produits en exécution du présent marché seront la propriété du Parc national de La Réunion. Le prestataire ne pourra utiliser tout ou partie des résultats faisant l'objet du présent marché qu'avec l'accord préalable du Parc national de La Réunion. Le Parc national pourra utiliser ces données en interne et les transmettre à des tiers sans limitation de droits (*rapports, cartes, couches SIG*).

Les informations et données qui auront été confiées au prestataire au cours de l'étude par les différentes parties ne devront pas être diffusées ni utilisées à d'autres fins que celles de l'étude. Les termes de la mise à disposition de ces données seront précisés dans une convention de mise à disposition de données entre le prestataire et le Parc national de La Réunion.

## **Article 9 – Phasage, planning de réalisation et durée de la prestation**

### **9.1 Phasage de la mission**

Le phasage de la présente mission suit le zonage géographique présenté en figure 3. Le fichier shapefile est fourni dans le DCE.

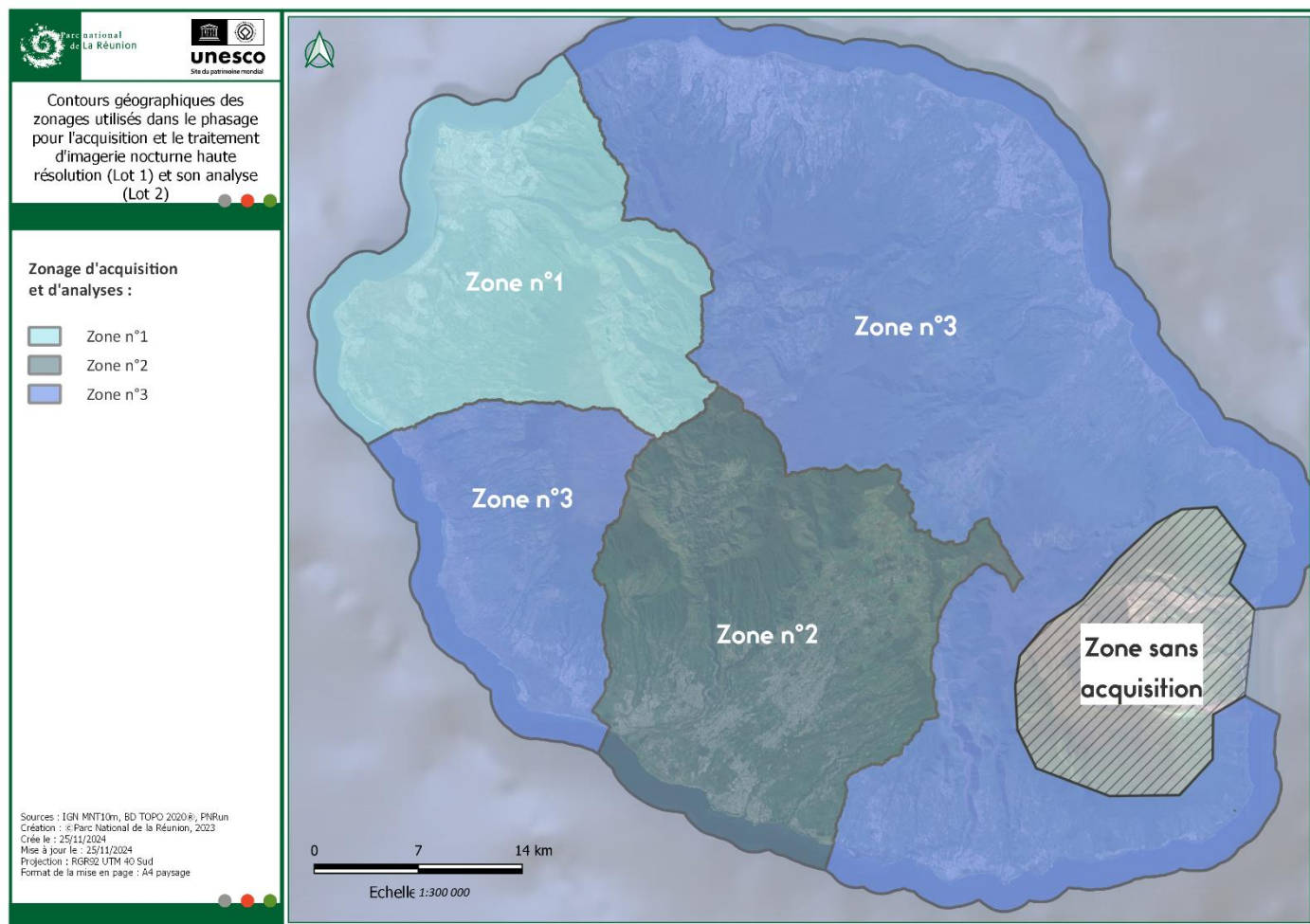


Figure 3 : Contours géographiques des zonages utilisés dans le phasage de l'acquisition d'imagerie satellite nocturne (lot 1) et son analyse (lot 2). Le contour externe correspond pour sa partie maritime à la limite des masses d'eau côtières (2019). Les zones n°1, 2 et 3 sont des zones d'acquisition. La zone hachurée à l'Est est une zone dépourvue d'acquisition.

L'acquisition des imageries nocturnes haute résolution devra être lancée dès attribution de la présente mission. L'acquisition devra être prioritairement lancée sur les zones n°1 et n°2 de la figure ci-dessus, afin de permettre le traitement (lot 1) et les analyses des images (lot 2) prioritairement sur ces zones.

Une fois l'acquisition des imageries nocturnes haute résolution et les traitements effectués sur les zones 1 et 2, l'acquisition sur la zone n°3 pourra être lancée (zone n°3 = 2 polygones) et les traitements effectués en suivant. Dès réception des images traitées de la zone 3 (lot 1), l'analyse sera effectuée (lot 2). Il est entendu que l'acquisition sur la zone n°3 pourra être lancée avant la fin de l'acquisition des zones n°1 et n°2 de manière opportuniste et sans incidences sur l'acquisitions des zones n°1 et n°2.

En parallèle, la bancarisation et l'analyse des données d'éclairage sera effectuée dès l'attribution de la présente mission (lot 2).

La modélisation de la pollution lumineuse et son analyse (lot 3) pourra être lancée dès l'attribution de la présente mission. Des mises à jour du modèle de pollution lumineuse seront réalisées au fil de l'eau en y intégrant des nouvelles données (acquisition successives d'imagerie nocturne zone n°1 et n°2 puis n°1, n°2 et n°3, données de brillance du ciel, etc.).



Le tableau ci-dessous synthétise le phasage de la présente mission :

	Lot 1 : Acquisition et traitement d'imagerie nocturne haute résolution			Lot 2 : Analyse d'imagerie nocturne haute résolution, bancarisation, analyses de données d'éclairage.	Lot 3 : Modélisation dynamique de la pollution lumineuse à La Réunion et analyses	
<b>Phase 1 :</b>	Acquisition des zones n°1 et n°2			Bancarisation et analyse des données d'éclairage	Modélisation dynamique de la pollution lumineuse au fil de l'eau	Analyse des modèles de pollution lumineuse au fil de l'eau
<b>Phase 2 :</b>	Acquisition de la zone n°3	Traitement des zones n°1 et n°2				
<b>Phase 3 :</b>		Traitement de la zone n°3	Livraison des zones n°1 et n°2			
<b>Phase 4 :</b>			Livraison de la zone n°3			

***Le tableau ci-dessous indique le phasage du projet et ne se substitue pas à un planning prévisionnel détaillé qui doit être fourni dans le ou les dossier(s) de candidature à la présente consultation. Il est entendu que pour la réalisation des grandes phases, des étapes intermédiaires devront être réalisées. Il appartient aux candidats de détailler ces étapes intermédiaires.***

***Ce phasage est présenté à titre indicatif. Dès que cela sera jugé utile une avancée synchrone des travaux entre les lots 1, 2 et 3 sera demandée. Dans le cas d'une attribution des lots à des prestataires différents, il sera demandé aux prestataires de garantir entre eux une communication transparente afin d'assurer une bonne exécution de la mission.***

## 9.2 Planning d'exécution

Le planning d'exécution est proposé par le ou les prestataires au moment de son offre. Il ne pourra pas être supérieur à la durée du projet dont la date de fin est le 30 Décembre 2026. La fin de la présente mission étant imposée par la temporalité du financement (voir Article 1). Le nombre de Jours Homme devra être précisé ainsi que la structuration de l'équipe (nombre de personne dédiées à la mission, composition de l'équipe en terme de profil et l'organisation interne).

Le ou les prestataires devront démontrer leurs compétences en télédétection, dans le traitement de la pollution lumineuse, l'analyse de l'éclairage artificiel, la rédaction et la vulgarisation de données et concepts scientifiques. Il est attendu que le ou les prestataires devront illustrer comment ils peuvent répondre à la présente consultation.

Il est demandé de produire les curriculums vitae (CV) des personnes affectées à l'exécution du marché. Les références données sur des études similaires seront attentivement examinées.

Le ou les prestataires devront proposer un calendrier détaillé par étape et finalisé pour chacune des phases décrites ci-dessus pour la 1<sup>ère</sup> Réunion de pilotage. La mission débutera dès la notification du marché et devra se terminer au plus tard le 30 Décembre 2026.

L'acquisition des imageries nocturnes devra être lancée au plus tôt après l'attribution du présent marché et au plus tard en avril 2025 selon le phasage décrit en partie 9.1. La capacité à fournir cette donnée rapidement sera pris en compte dans la notation des propositions.

La première modélisation de la pollution lumineuse devra être livrée en septembre 2025. L'actualisation de ce modèle devra être livrée en septembre 2026.

Il est demandé aux prestataires d'utiliser une plateforme d'échange durant la totalité de la mission du type RESANA. D'autres plateformes peuvent-être proposées par le prestataire à condition que celles-ci soient hébergées en Union Européenne, gratuite et sécurisée.