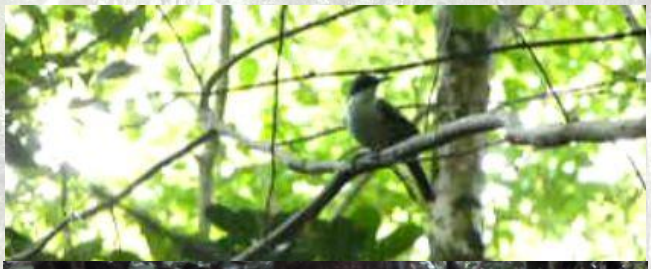
Paramétrage d'outils d'acquisition de données environnementales en vue d'un suivi de populations d'oiseaux à enjeux : le cas du Moqueur gorge-blanche (*Ramphocinclus brachyurus*)



Réalisé par

Jonathan. PRIAM

Ingénieur environnement et société

Expertise technologies de l'information et de la communication appliquées à l'environnement

Encadrement scientifique

JR Gros-Désormeaux (Docteur ès Géographie, UAG/IRD)

Collaborations scientifiques

Y Kato (Ingénieur géomatique, CARIBSAT)

M Mainson (Ingénieur traitement du signal, CARIBSAT)

L Manyri (Docteur ès traitement du signal, INSA)

N Dessart (Docteur ès informatique réseau, LAMIA)

À la demande de

*la **L**igue pour la **P**rotection des **O**iseaux*

Projet LIFE+ CAP-DOM

AVERTISSEMENT

Aucune reproduction, même partielle, autres que celles prévues à l'article L 122-5 du code de la propriété intellectuelle, ne peut être faite de ce document sans l'autorisation expresse de l'auteur.

Sommaire

INTRODUCTION 1
1. PRESENTATION DU SITE 2
2. MATERIELS ET METHODES 2
2.1 Song Meter 2
2.2 Capteur ēKo 5
2.3 Relevés au sein de la Réserve Naturelle de la Caravelle. 6
2.4 Song scope 7
3. DIFFICULTES 10
4. RESULTATS 11
5. DISCUSSION 12
6. CONCLUSION 14
BIBLIOGRAPHIE 15
ANNEXES 16

Liste des figures

Figure 1 : Presqu'île de la Caravelle 2
Figure 2 : Song Meter..... 3
Figure 3 : Localisation des sites sur l'ensemble de la presqu'île de la Caravelle..... 3
Figure 4 : Nœuds ēKo 5
Figure 5 : Localisation des différents sites associant un Song Meter et un nœud ēKo dans la RNC. 7
Figure 6 : Annotation des cris du Moqueur gorge-blanche sur les enregistrements en fonction des relevés-terrain. 8
Figure 7 : Formation de buée à l'intérieur d'un noeud ēKo. 11

Liste des tableaux

Tableau 1 : IP-SM en fonction des détections du logiciel Song Scope. 12

INTRODUCTION

Durant longtemps, l'homme a perçu la nature comme une ressource inépuisable, sur laquelle il lui fallait assoir sa domination. Ce n'est que depuis quelques dizaines d'années que la nécessité de la préserver et de la valorisera émergé au plan mondial. Le Sommet de la Terre de Rio en 1992 fut une étape majeure dans le processus de conservation de la biodiversité. L'érosion de cette dernière est l'un des enjeux prioritaires dérivés du développement durable.

Face aux pressions anthropiques de plus en plus importantes et aux modifications climatiques, la biodiversité des milieux insulaires est vulnérable. Les îles sont d'autant plus fragiles en raison de leurs surfaces réduites, la richesse et la singularité de leurs écosystèmes.

Dans le cadre du programme Life + Cap Dom à la Martinique, une méthode combinant des outils d'acquisition électronique et un système d'information géographique est expérimentée. Le but est de permettre un renforcement de la connaissance concernant le Moqueur gorge-blanche (*Ramphocinclus brachyurus*), afin de réévaluer, voire renforcer la pertinence des moyens de gestion et de protection qui existent pour l'espèce.

Le Moqueur gorge-blanche (*R. brachyurus*) est endémique à deux îles de la Caraïbe : l'île de Sainte-Lucie et celle de la Martinique. Il s'agit d'un Mimidé dont l'aire de répartition est restreinte. À ce jour, il est situé à Sainte-Lucie dans la région de Louvet et entre Petite-Anse et Dennery (BENITO-ESPINAL & HAUTCASTEL, 2003). À la Martinique, on le trouve à la Presqu'île de la Caravelle, notamment au sein de la Réserve Naturelle de la Caravelle (RNC) (AOMA, 2007). Autrefois, il avait été rencontré dans d'autres secteurs de l'île telle que la mangrove et les bois des hauteurs de Fort-de-France (PINCHON, 1976).

L'objectif principal de cette étude est de rechercher un paramétrage optimal convenant à un enregistreur bioacoustique programmable, le Song Meter et à un capteur de données environnementales, capteur ēKo. Le dispositif doit permettre le suivi des populations de Moqueur gorge-blanche ainsi que l'acquisition d'informations quantitatives micro-climatiques (luminosité, température, humidité) favorables à sa présence.

1. PRESENTATION DU SITE

La Réserve Naturelle de la Caravelle est située sur la commune de Trinité à l'extrémité de la Presqu'île de la Caravelle bordée par l'océan Atlantique (**Figure 1**). C'est un site protégé créé en 1976 en raison de sa faune, de sa flore, de sa géologie, mais également de son héritage historique. Elle s'étend sur environ trois kilomètres de long pour une largeur de deux kilomètres et demi, représentant une surface de 388 ha.

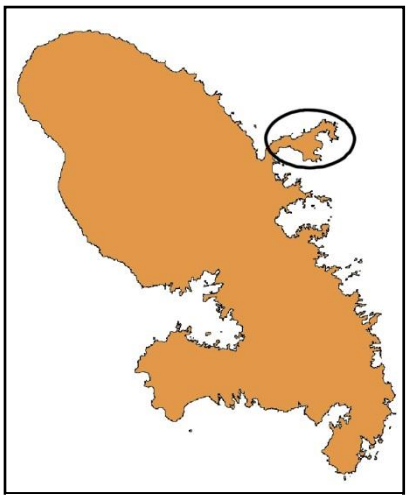


Figure 1 : Presqu'île de la Caravelle

Cette réserve abrite des paysages variés alternant entre la forêt sèche, la savane, la côte rocheuse et la mangrove. Le climat y est sec avec des alizés à dominance nord-est et des précipitations annuelles de l'ordre de 1000 mm (VENNETIER, SASTRE & BRITHMER, 2001).

2. MATERIELS ET METHODES

L'étude proposée aspire à tester l'aspect pratique et fiable du Song Meter et du capteur ēKo appliqué à un suivi avien. L'utilisation conjointe de ces deux outils permet ainsi potentiellement d'établir un parallèle entre la présence/absence de la Gorge-blanche et certaines conditions abiotiques (luminosité, température, humidité). Elle se base sur des données acquises simultanément par le dispositif de surveillance électronique ainsi que celles d'un observateur formé à la reconnaissance des oiseaux.

2.1 Song Meter

Habituellement, l'évolution des populations d'oiseaux est évaluée grâce à des observateurs qui privilégient le chant des individus pour caractériser leur présence. Le nombre de personnes formées à l'identification sonore des oiseaux chanteurs est restreint. Il est donc délicat de recruter des personnes compétentes en nombre suffisamment important, pour permettre un suivi pluriannuel de l'avifaune et à plus forte raison dans des lieux éloignés ou à accès difficile. Dans le domaine de la surveillance de l'avifaune, l'utilisation de matériel bioacoustique est de plus en plus répandue pour la raison précitée. C'est également par rapport au gain de temps et d'effort non négligeable que permet cette technologie entre les mains d'un expert lors de la phase d'analyse *ex situ* (AGRANAT, 2007; WADDLE, THIGPEN & GLORIOSO, 2009).

Le système d'enregistrement automatique utilisé dans le cadre de cette étude est la version 2 du Song Meter (**Figure 2**). Il offre un large panel de possibilité de configuration en plus de résister assez bien aux intempéries en raison de son imperméabilité. En outre, la récupération de la

donnée numérisée est rendue facile par l'utilisation de cartes mémoires amovibles. Il est possible de disposer d'un total de 128 Go pour stocker la donnée. Un paramétrage optimal se traduit par un signal comparable à ce qu'il est possible d'entendre par l'oreille humaine sur le terrain tout en maximisant la durée d'enregistrement sans interruption.

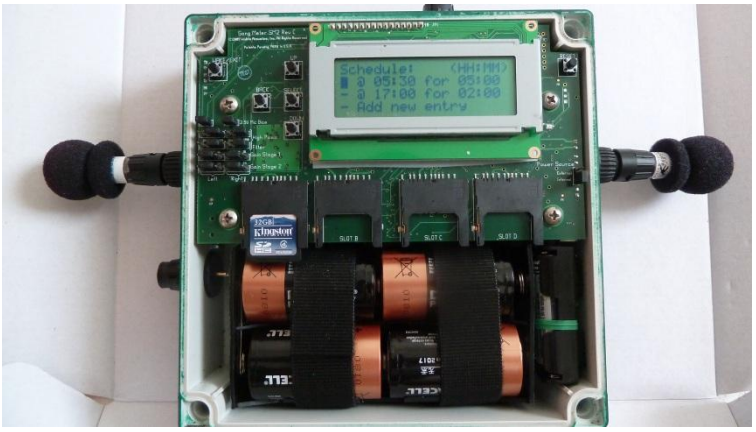


Figure 2 : Song Meter

Un Song Meter a été positionné sur quatre sites de la presqu'île de la Caravelle (**Figure 3**) durant trois mois. Les emplacements correspondaient à un milieu présentant un paysage jugé favorable à la présence du Moqueur gorge-blanche (AOMA, 2007). L'architecture des branches, la litière abondante, la proximité à un cours d'eau sont autant de facteurs qui ont été pris en compte.

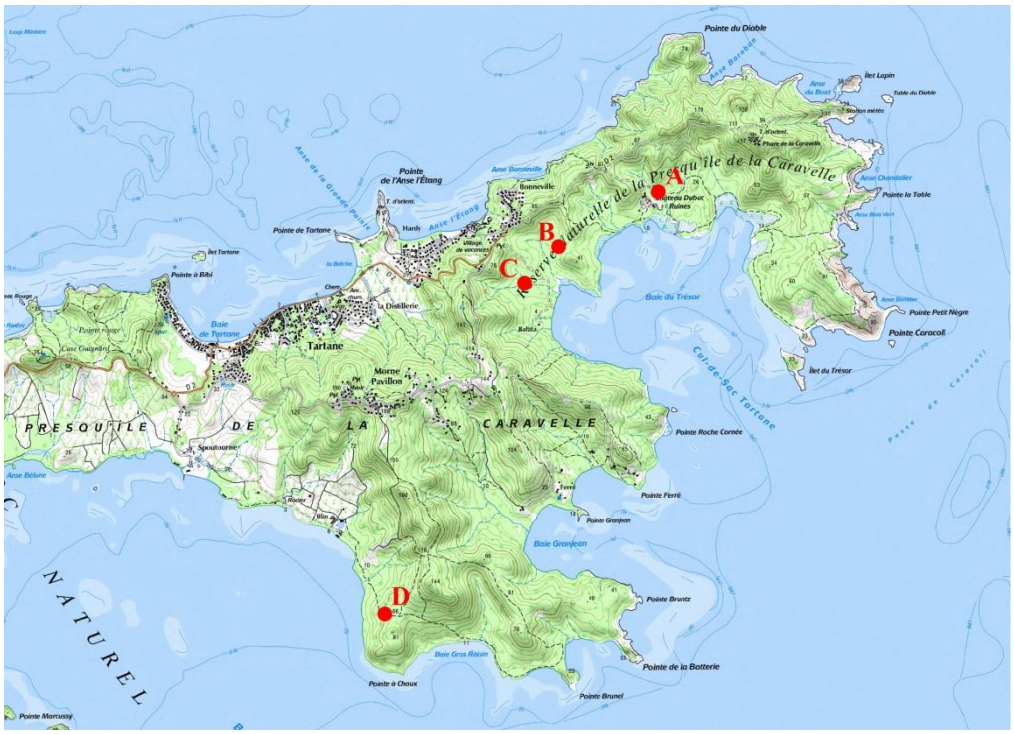


Figure 3 : Localisation des sites test du Son Meter sur l'ensemble de la presqu'île de la Caravelle.

Les Song Meter ont été programmés pour effectuer un enregistrement quotidien en début de matinée de 5 h 30 à 10 h 30 et en fin d'après-midi de 17 h à 19 h. Il s'agit, de manière générale, des horaires où l'activité des oiseaux est la plus marquée. Elle coïncide avec le lever du soleil et est la plage d'horaire d'inventaire des ornithologues à la recherche d'un indice ponctuel d'abondance (BLONDEL, FZEEY & FROCHOT, 1970). La durée des enregistrements est le facteur principal qui détermine la taille[1] de la donnée numérisée.

La fréquence en hertz (Hz) est le second paramètre déterminant la taille de la donnée. Plus celle-ci est importante, meilleure sera la qualité technique de l'enregistrement et plus grande sera sa taille. Elle doit être suffisamment élevée en raison du théorème d'échantillonnage de Nyquist (NYQUIST, 1928). Lors de la conversion d'un signal analogique en un signal numérique, la fréquence d'échantillonnage en hertz doit être égale ou supérieure au double de fréquence maximale contenue dans ce signal. Dans le cas contraire, le son enregistré par le système d'enregistrement automatique peut avoir à l'oreille un rendu différent de celui d'origine. Un compromis a donc été trouvé avec une fréquence de 16 000 Hz.

Le Song Meter offre la possibilité d'utiliser un filtre de Butterworth (BUTTERWORTH, 1930) grâce à des cavaliers situés en façade. Il s'agit d'un filtre passe-haut permettant d'atténuer les fréquences en hertz inférieures à une bande de coupure sélectionnée. Cependant, le système de cavalier n'est pas suffisamment précis pour permettre d'atteindre les 600 Hz correspondants à la fréquence minimale observée lors d'un cri du *Ramphocinclus brachyurus.* Il est donc recommandé de conserver la valeur de 3 Hz par défaut.

Le gain a été réglé sur 32 décibels (dB). Il permet d'augmenter la puissance du signal et influence directement la clarté de celui-ci ainsi que la portée sur laquelle il est décelable. Il faut toutefois faire attention à ce qu'il ne soit pas trop excessif. En effet, un gain trop important peut mener à la saturation de la bande de fréquence (Hz) préalablement définie.

Le dernier paramètre pouvant influencer la taille de la donnée est le format de compression des enregistrements. Deux types de format sont disponibles :

- le format WAV (ou WAVE) qui est un format conteneur standard pour fichier audio numérique non compressé. Il présente l'avantage d'être lu facilement,
- le format WAC est un format propriétaire limitant la perte de qualité des fichiers audio. Neuf niveaux de compression au format WAC sont disponibles allant du WAC0 au WAC8. Le WAC0 offre un fichier ne représentant plus que 70 à 60% de son poids au format WAV sans perte majeure de qualité. Les formats WAC1 à WAC8 en revanche se délaissent successivement d'un bit[2] sur 8 des 16 bits de quantification du signal.

[1] En informatique, la taille (ou le poids) d'un fichier est la place qu'il occupe sur un support de stockage.
[2] Détermine la finesse avec laquelle l'amplitude du son est encodée.

Le choix du format de compression s'est porté sur le WAC0, car il permet, au regard du gain sélectionné de limiter la dégradation du signal.

2.2 Capteur ēKo

Il n'y a pas de paramétrage particulier à apporter au capteur ēKo. Ce dernier est en réalité un système composé de plusieurs éléments :

- le nœud ēKo (**Figure 4**) est l'élément qui est placé sur les différents sites en association avec un Song Meter. Il dispose d'un panneau photovoltaïque et d'une batterie interne, ce qui lui permet de fonctionner en extérieur sans risquer de manquer d'énergie. C'est par lui que transitent les informations acquises par les sondes avant d'être transférées à la base. La communication avec la base se fait par une technologie sans fil de la famille des LR WPAN[3]. Cette dernière permet de relayer l'information en provenance d'autres nœuds ēKo,

Figure 4 : Nœuds ēKo

- les sondes ēKo sont au nombre de trois par nœud. La première sonde mesure la quantité d'eau présente dans le sol. Elle est exprimée en « Water Fraction by Volume » présenté sous la forme d'un pourcentage (%WFV). Un sol saturé en eau correspond globalement à 0.3 - 0.45 wfv en fonction de la nature du sol. La seconde sonde mesure la température en degré Celsius (°C) ainsi que l'humidité ambiante relative par rapport à la glace (RHI). La troisième mesure l'éclairement énergétique en watt par mètre carré (W/m^2),
- la base composée à la fois d'une base de réception et d'un ordinateur portable, permet de visualiser en temps réel l'ensemble des informations transmises par les nœuds ēKo, de les représenter sous la forme de courbe, ou encore de les archiver.

[3]Low Rate Wirless Personal Area Network

Le milieu forestier est un obstacle impactant la portée des ondes émises par les nœuds ēKo. Un test *in situ* a permis d'identifier l'écartement maximal possible entre deux nœuds de manière à ce que la communication entre eux soit garantie. Il faut savoir qu'un nœud ēKo, à chaque mise en route, indique par un code de couleur via une diode électroluminescente, sa capacité à détecter d'autres nœuds. Le rouge indique qu'il n'y a aucun autre de détecté, l'orange prouve qu'un nœud a été détecté et le vert témoigne qu'au moins deux nœuds ont été détectés. En conséquence et grâce à un décamètre (pour les courtes distances et les milieux boisés) et à un télémètre laser (pour les longues distances et les espaces ouverts), un test a eu lieu en forêt et sur une plaine. Il a consisté à allumer un nœud de manière répétitive tout en s'éloignant de l'autre et en vérifiant le code de couleur. La distance maximale, après avoir été vérifiée trois fois, a été validée.

2.3 Relevés au sein de la Réserve Naturelle de la Caravelle.

Le bon fonctionnement du dispositif a été vérifié quotidiennement. Celui-ci a été déplacé dans le but d'éprouver les zones à fort potentiel en ce qui concerne les chances de contact avec le Moqueur gorge-blanche (**Figure 5**). De même, un recensement des manifestations avait également lieu. Les relevés *in situ* par l'observateur à proximité d'un Song Meter identifié par le biais d'un numéro, représente un gain de temps lors de l'analyse des enregistrements. En effet, la localisation de manifestations sonores de l'oiseau sur l'enregistrement numérique est rendue plus rapide par corrélation avec les relevés terrain.

Dans ce cadre expérimental, des points d'écoute ont été effectués. La technique d'observation utilisée sur le terrain est inspirée de celle proposée par Jacques Blondel en 1970. Durant 30 minutes et sur chaque station (ici les différents sites sur lesquels sont placés le matériel) l'observateur immobile, note les contacts avec le Moqueur gorge-blanche. Ce temps passé sur chaque station augmente les chances d'avoir au moins un contact avec l'espèce. Le recensement se fait sur la base de manifestations auditives. Le contact visuel n'est pas retenu. La taille de la station est fonction de la capacité de l'observateur à percevoir le chant du *Ramphocinclus brachyurus*. Toutefois, puisque les relevés se font en forêt et à l'ouïe, il n'est pas possible d'indiquer une distance pour chaque contact. Lors des contacts avec la gorge-blanche, la date, l'heure et le numéro du Song Meter proche, ont été notés. Ce protocole est le plus adapté parmi ceux que l'on trouve dans la littérature, car il répond aux objectifs tout en limitant les contraintes telles que les perturbations induites par les randonneurs.

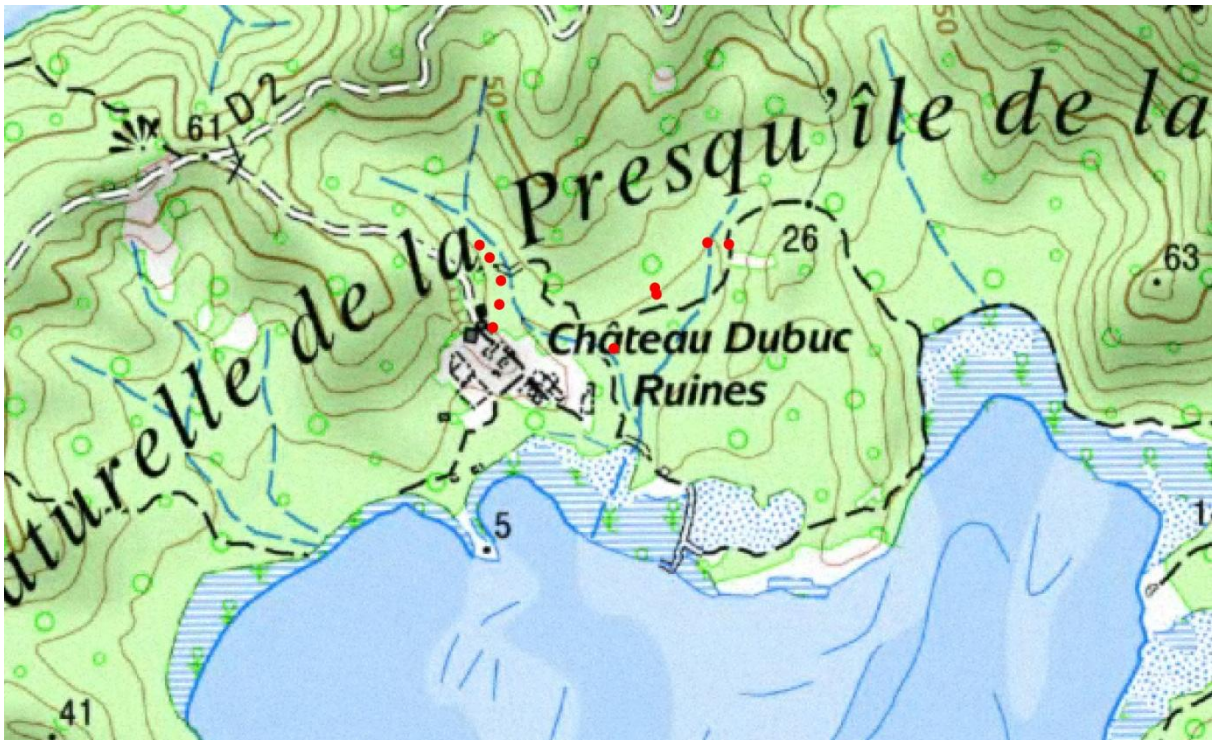


Figure 5 : Localisation des différents sites associant un Song Meter et un nœud ēKo dans la RNC.

Les données audio des différents enregistreurs ont été récoltées de façon hebdomadaire.

2.4 Song scope

Le logiciel Song scope, permet la lecture ainsi que l'analyse des données audio obtenues sur la Réserve Naturelle de la Caravelle. Après un mois de récolte de données, celles-ci ont été transmises au laboratoire de Mathématiques Informatique et Applications (LAMIA). Au cours des deux séances de travail effectuées avec la représentante du LAMIA, l'observateur a aidé à repérer les signatures sonores du Moqueur à gorge-blanche sur les enregistrements du mois de juillet.

Un gradient de qualité a été élaboré dans le but d'établir une correspondance entre la netteté des cris de l'espèce sur le terrain et ceux sur les enregistrements.

L'exercice d'identification des signatures sonores de l'oiseau a été reconduit et approfondi, dans les locaux de l'IRD Martinique, de manière autonome par l'observateur pour l'ensemble des données acquises en trois mois (**Figure 6**).

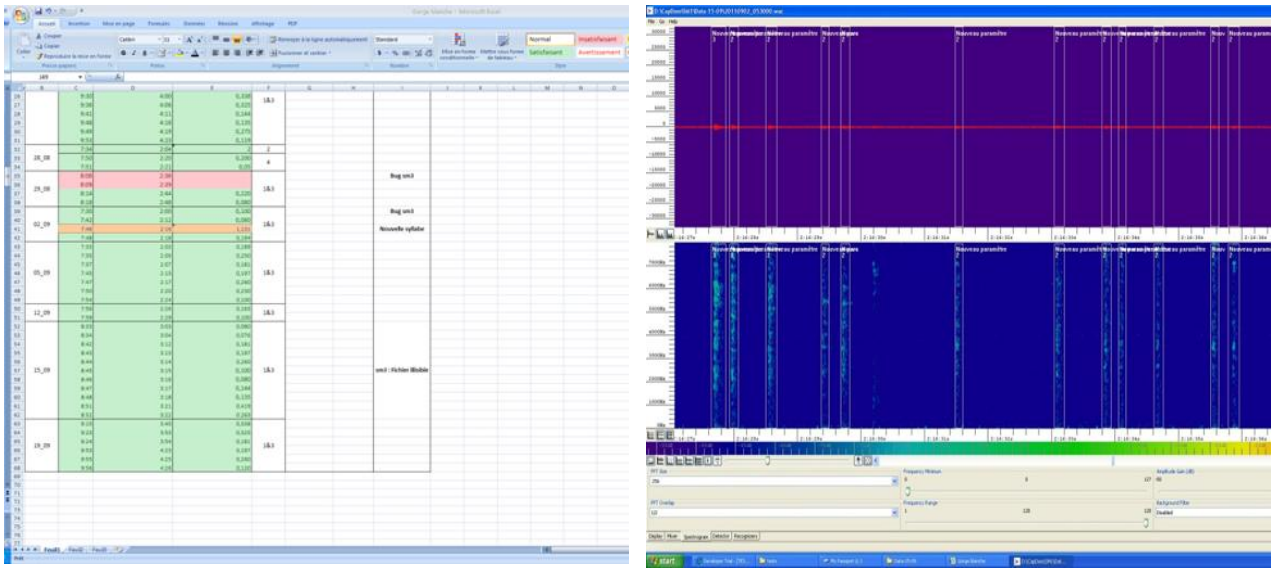


Figure 6 : Annotation des cris du Moqueur gorge-blanche sur les enregistrements en fonction des relevés-terrain.

La première étape consiste à annoter les empreintes vocales (fréquence et durée) du Moqueur gorge-blanche sur les différents enregistrements. En fonction de ces échantillons et d'un certain nombre de paramètres réglés par l'utilisateur, le logiciel élabore un modèle de reconnaissance.

Les paramètres réglables pouvant significativement peser sur l'élaboration d'un modèle de reconnaissance sont nombreux.

La « FFT size » (Fast Fourier Transform) permet de transposer un signal continu en spectre de fréquence. La valeur sur laquelle il est ici possible d'agir correspond au nombre de segments traités dans le domaine fréquentiel. La « FFT Overlap » correspond au recouvrement partiel de chaque segment. Il est question d'estimer au mieux les caractéristiques de résolution fréquentielle adéquates au signal tout en prenant en compte l'aspect temporel. Mon choix s'est porté sur un « FFT size » de 128 avec un taux de recouvrement de 50%.

La bande de fréquence analysée permet de ne cibler que la bande de fréquence sur laquelle l'oiseau se manifeste. Le résultat sera d'autant plus précis que la segmentation FFT sélectionnée est élevée. La bande retenue est comprise entre 687 Hz et 7312 Hz. Elle correspond sur les enregistrements aux cris du Moqueur.

Le « Background Filter » permet d'optimiser la séparation entre un signal et un bruit de fond dit stationnaire (par exemple un cours d'eau). Il est recommandé d'utiliser un déphasage d'une seconde.

Le « Maximum Complexity » est le nombre de fois que le Modèle de Markov Caché va être rapporté en plusieurs états sur un nombre de segments de classe. Ces classes sont automatiquement découpées vis-à-vis des échantillons de cris fournis au logiciel. Le choix de la valeur attribuée à ce paramètre s'est porté sur 48 de manière à permettre au logiciel de générer un

nombre d'états du modèle suffisamment important, pour ne conserver que celui qui fournit le meilleur résultat.

Le « Maximum Resolution » correspond au nombre de caractéristiques discriminantes retenues dans la construction du processus de reconnaissance. Plus la valeur est élevée, plus le nombre de détails pris en compte par le logiciel l'est également. Toutefois, les enregistrements effectués sur le terrain comportent beaucoup de facteurs modifiant leur qualité en un même moment. Le rapport signal/bruit, bien que satisfaisant, risque d'induire beaucoup d'erreurs lors de l'analyse. De ce fait, la faible valeur du maximum de résolution choisi (8) permet de réduire le nombre de fausses interprétations.

Le paramètre « Maximum Syllable » doit correspondre à la durée maximale de la plus longue syllabe de l'oiseau. Dans les cas observés sur les enregistrements, elle est de 90 millisecondes (ms).

Le « Maximum Syllable Gap » est une indication sur la plus grande durée séparant deux syllabes. De cette manière, il devient possible pour le logiciel de sélectionner chaque syllabe d'un chant. La plus grande valeur observée sur les enregistrements est de 10 ms.

Le « Max Song » est la durée maximale d'un chant. Ce paramètre a été réglé sur 200 ms.

Le « Dynamic Range » est le seuil en décibel en dessous duquel les signatures spectrales seront exclues. Un chant à peine audible peut difficilement être retenu par un expert. Pour cette raison, le seuil a été fixé à 15 dB.

Pour ce qui est de « Algorithm », c'est la version 2 de l'algorithme de reconnaissance développé par Wildlife Acoustics qui a été sélectionnée. Lors de la phase d'essai, celui-ci conduit à un plus grand nombre de bonnes détections.

Les deux paramètres suivants ne sont pas liés à la construction d'un modèle permettant au logiciel d'apprendre à reconnaitre la signature sonore du Moqueur gorge-blanche. Ce sont des critères permettant un tri dans les résultats trouvés par le logiciel après analyse des enregistrements. Le « Minimum Quality » sélectionné est de 45. C'est une distribution statistique qui indique dans quelle proportion les résultats affichés intègrent les paramètres établis pour la construction du modèle de reconnaissance. Le « Minimum Score » permet également d'instaurer un seuil de pertinence dans les résultats. Il s'agit d'un pourcentage montrant le degré de compatibilité avec le modèle de reconnaissance généré sur la base des données d'entrainement.

Après l'élaboration d'un modèle de reconnaissance et en fonction des vocalises automatiquement détectées par le logiciel, des indices ont été calculés pour chaque site.

3. DIFFICULTES

De manière générale, les difficultés rencontrées n'ont pas été insurmontables. Mais les plus inquiétantes restent celles liées au matériel. En ce qui concerne le Song Meter, les microphones sont le principal point de vulnérabilité. Schématiquement, le microphone est composé de deux parties : le bonnet qui correspond à la partie du microphone protégée par une mousse noire et la tige qui correspond au reste du corps. La jonction entre ces deux éléments est consolidée par de la colle. Cette colle est appliquée en proportion variable d'un microphone à l'autre. Il est arrivé sur l'un des microphones que la jonction ne soit plus assurée en raison d'une colle fragilisée suite à un temps excessivement pluvieux. Il a été observé une détérioration de la qualité des enregistrements issus de ce microphone.

Des bugs de fonctionnement ont également été observés sur l'un des Song Meter. La diode électroluminescente affichait un signal fixe (absence de clignotement comme c'est le cas durant une phase normale de fonctionnement). Lors de la récupération des fichiers audio correspondants aux dates auxquelles étaient survenus les bugs, ces derniers étaient corrompus. On observait soit un fichier de 0 kilooctet (Ko) soit une succession de petits fichiers d'une dizaine de Ko inexploitable. Ce problème n'a pas été observé sur les autres unités.

Le plus préoccupant est l'infiltration d'eau dans l'un des nœuds ēKo pourtant certifié imperméable par le constructeur. La partie inférieure de l'appareil pourrait être la zone par laquelle l'eau se serait infiltrée. Un phénomène de condensation a été constaté à l'intérieur de l'appareil (**Figure 7**). Quelques jours après, il ne fonctionnait plus.

Lors de l'inventaire des sites reculés, l'obstacle que représente la très courte portée du signal des nœuds ēKo a été résolu par le transport de la base. Celle-ci, grâce à la batterie de l'ordinateur portable, disposait d'une autonomie de 4 heures.

Un autre facteur pénalisant a été l'absence d'une licence flottante pour le logiciel Song Scope. Cela a empêché le test de nouveaux seuils de paramétrage dans la construction du modèle de reconnaissance. Le travail a été fait avec une version d'évaluation limitée dans le temps.

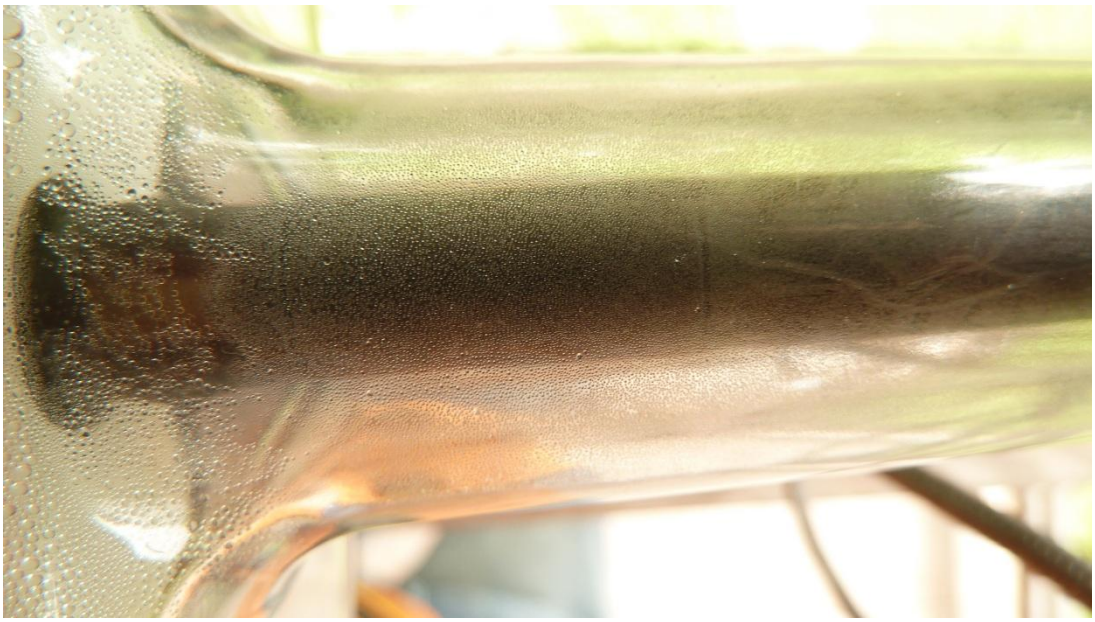


Figure 7 : Formation de buée à l'intérieur d'un noeud ēKo.

4. RESULTATS

L'ensemble du temps passé sur le terrain correspond à 90 heures d'observation au cours desquels il y a eu 65 contacts sonores avec le Moqueur gorge-blanche. Sur ces 65 contacts *in situ*, 54 ont été retrouvés lors de l'écoute des enregistrements (Annexe 1). Si le nombre de contacts peut sembler limité, il faut garder à l'esprit que ce suivi s'est déroulé durant la saison des pluies à la Martinique. Il est largement admis par les ornithologues que d'une façon générale, les oiseaux chantent beaucoup moins par temps de pluie.

Les Song Meter ont enregistré près de 1500 heures de donnée pour un poids total de135,5 gigaoctets. Sur les premiers enregistrements, les cris sont à peine audibles, le gain étant trop faible. Les réglages successifs ont permis d'obtenir un signal clairement audible dans un rayon de huit mètres autour de l'appareil. Au-delà, il reste discernable, mais est plus faible par rapport à une écoute directe sur le terrain. Cela est dû en partie à la distance, mais également à la présence du bruit généré par la machine elle-même.

Concernant les nœuds ēKo, la portée maximale de leur protocole de communication est de 125 mètres en milieu dégagé, comme la savane. En réalité, il s'agit là de la plus grande surface ouverte qu'il a été possible de trouver et à l'intérieur de laquelle aucun obstacle n'est venu perturber la propagation des ondes entre les nœuds. Au sein de la forêt xéro-mésophile, cette distance chute à 50 mètres.

Les données exportées au format CSV du système ēKo montrent environ 160 relevés par sondes. Mais il s'agit là de points pris à heures fixes chaque jour et non du nombre exhaustif de points de relevés effectués. L'ensemble de ces données ne représente que 770 Ko. Dans les faits, pour des

conditions climatiques stables un relevé était noté sur l'écran de suivi des données toutes les 15 minutes. Lors d'une variation brusque, celle-ci était immédiatement reportée sur la courbe de représentation. Il a également été noté que lors de l'allumage des nœuds ēKo, la donnée était enregistrée toutes les 30 secondes environ.

Pour ce qui est de Song scope, le recours au modèle de reconnaissance facilite grandement le repérage des manifestations sonores de la gorge-blanche. Cependant, plus l'on cherchera à englober toutes les syllabes de gorge-blanche, plus le risque d'erreur de la part du logiciel sera grand. Le logiciel proposait environ 300 syllabes trouvées par matinée de "beau temps" sur le hot spot de la Réserve Naturelle de la Caravelle. Il faut encore affiner le paramétrage.

Après l'élaboration d'un modèle de reconnaissance, un indice de détectabilité a été recherché s'appuyant sur un échantillonnage répété de chaque site par un enregistreur (**Figure 3**). L'indice calculé n'est pas un indice ponctuel d'abondance au sens strict du terme. Il s'agit d'un indicateur présence/absence comptabilisant au moins une manifestation sonore de la Gorge-blanche détecté par le logiciel au cours d'un certain temps (**Tableau 1**). Toutes les manifestations comptabilisées ont été écoutées par l'observateur.

Coordonnées (UTM 20N WGS84)	Site	Nb. d'unités	Unité	Nb. Jours	Fréquence contacts	IP-SM
727400 , 1633904	A	25	heure	5	22	0.88
726436 , 1633398	B	25	heure	5	11	0.44
725069 , 1630511	C	25	heure	5	13	0.52
727220 , 1633830	D	25	heure	5	0	0
727400 , 1633904	A	40	1/4 heure	2	15	0.375
726436 , 1633398	B	40	1/4 heure	2	8	0.2
725069 , 1630511	C	40	1/4 heure	2	14	0.35
727220 , 1633830	D	40	1/4 heure	2	0	0
727400 , 1633904	A	20	1/2 heure	2	13	0.65
726436 , 1633398	B	20	1/2 heure	2	7	0.35
725069 , 1630511	C	20	1/2 heure	2	10	0.5
727220 , 1633830	D	20	1/2 heure	2	0	0

Tableau 1 : IP-SM en fonction des détections du logiciel Song Scope.

5. DISCUSSION

Après l'ensemble des tests effectués sur le Song Meter, il en ressort qu'il s'agit d'un appareil assez fiable. Seul l'un d'entre eux a présenté un dysfonctionnement. Le principal facteur limitant leur utilisation est la longévité des piles d'alimentation sur le terrain. Il faut savoir que cette longévité est fonction de nombreux paramètres dont la fréquence d'échantillonnage, la durée des enregistrements, etc. Mais s'il est possible d'intervenir sur ces paramètres, il y en a un sur lequel

cela est plus difficile : la température du milieu. Plus celle-ci est élevée, plus l'autonomie des piles est réduite.

À la lumière des tests sur le terrain, les piles sont viables environ 3 à 4 semaines. Puisque ce temps est suffisamment correct, je propose d'en tirer parti en maximisant les paramètres influant sur la qualité des enregistrements de façon à occuper, durant ce laps de temps, une meilleure part de l'espace de stockage offert par la carte mémoire.

Un paramétrage optimal pour un suivi de la gorge-blanche sur le terrain serait :

- Six heures en matinée [5 h – 11h]. Il a été constaté sur le terrain comme sur les enregistrements que les manifestations de gorge-blanche avaient lieu dès 5 h 30 du matin. Celles-ci augmentaient en nombre tout au long de la matinée et continuaient au-delà de 10 h 30 avant de se faire plus rares.
- Une fréquence de 22 050 Hz. Une fréquence d'échantillonnage plus importante devrait permettre d'obtenir une meilleure résolution du signal et donc une plus grande fiabilité dans l'application du modèle de reconnaissance. De plus, elle limite les chances de saturation comme cela a été parfois observé sur les enregistrements.
- Un gain de + 55 dB permettrait d'augmenter la distance sur laquelle les individus peuvent être clairement détectés, se rapprochant ainsi des capacités auditives de l'oreille humaine sur le terrain.

Ce paramétrage, spécifique à la gorge-blanche, devrait conduire au meilleur compromis entre la qualité, la taille de la donnée et le temps. La récupération des données pourra alors coïncider avec le changement des piles de l'appareil.

Le noeud ēKo est précis dans ses relevés et demande peu d'entretien. Un nœud associé à un Song Meter est suffisant. Idéalement, il doit être placé verticalement sur un tronc (au sol le signal serait perturbé) et de manière à ce que son panneau photovoltaïque soit exposé au soleil. La sonde de luminosité doit être également disposée à la verticale afin de fournir une information valable.

Pour ce qui est de l'application du modèle de reconnaissance pour l'analyse des données, le calcul des taux d'erreur rencontrés par rapport aux différents réglages et sites n'a pas été approfondi, en raison de la péremption de la version d'évaluation.

Le tableau 1 est une comparaison de quatre sites en fonction des contacts sonores avec la Gorge-blanche. L'indice permet de se rendre compte que le hot spot de la gorge-blanche est la Réserve Naturelle de la Caravelle. La Gorge-blanche est présente en dehors de la Réserve, mais les contacts sont moins fréquents. Pour interpréter les résultats relatifs au site D, il faut savoir que la composition du milieu est différente de celle des trois autres sites. En effet, ce milieu est plus fermé. L'espèce ciblée n'est pas totalement absente de ce site puisque lors de la pose des enregistreurs, elle a parfois été entendue. L'absence de manifestation sur les enregistrements s'explique par une répartition beaucoup plus éparse des individus sur l'ensemble de la zone.

6. CONCLUSION

Les résultats obtenus montrent qu'il est possible d'assurer un suivi des populations de Moqueur gorge-blanche. Les enregistreurs bioacoustiques programmables se sont améliorés cette dernière décennie. Ils sont suffisamment fiables et précis pour être employés dans la surveillance environnementale. Ils sont rendus plus pratiques pour l'utilisateur d'année en année et les modèles de reconnaissance deviennent plus précis. Un enregistreur après une installation simple peut demeurer plusieurs jours sur le terrain. Ceci permet de limiter les déplacements, maximiser la durée de l'échantillonnage et accroitre le nombre de lieux pouvant être échantillonné simultanément.

Le système ēKo séduit en raison de ses aspects pratiques (remplacement facile des sondes, transmissions des données en temps réel, grande autonomie de la batterie des nœuds). Pourtant, l'absence d'un support de stockage intégré aux nœuds est à déplorer. Ceci rend contraignante l'utilisation du système en pleine forêt.

L'usage de Song Scope, logiciel capable d'analyser le signal à la recherche de vocalisation, réduit de manière très significative le temps de travail nécessaire pour traiter la donnée. Les confusions et les erreurs de reconnaissance de la part du logiciel ont lieu sur des empreintes sonores dont la qualité est biaisée (distance trop importante, trop de bruit) tout comme c'est le cas pour un observateur sur le terrain. Cependant, il ne faut pas y voir la fin du naturaliste. L'avis d'un expert reste indispensable dans le processus de validation de la donnée. Il ne fait aucun doute que ce système est un bon moyen de suivi des populations d'oiseaux à la condition qu'un spécialiste se retrouve en bout de chaine afin d'en valider les résultats.

Ce procédé d'acquisition de donnée permettrait sur le long terme de dégager une tendance sur l'évolution des populations, ou encore concourir à la modélisation de l'aire de répartition de l'espèce.

BIBLIOGRAPHIE

AGRANAT, I.D., 2007. Automatic Detection of Cerulean Warblers Using Autonomous Recording Units and Song Scope Bioacoustics Software. , 13 p.[En ligne]. www.wildlifeacoustics.com.

Association Ornithologique de la Martinique, 2007. Suivi du Moqueur gorge-blanche et des autres oiseaux remarquables sur la Réserve Naturelle de la Caravelle. , 32 p.

BENITO-ESPINAL, É. & HAUTCASTEL, P., 2003. *Les oiseaux des Antilles et leur nid*, PLB éd, 320 p.

BLONDEL, J., FZEEY, C. & FROCHOT, B., 1970. La méthode des indices ponctuels d'abondance (IPA) ou des relevés d'avifaune par stations d'écoute. *Alauda*, 38(1), pp.55–71.

BUTTERWORTH, S., 1930. On the Theory of Filter Amplifiers. *Experimental Wireless and the Wireless Engineer*, 7, pp.536–541.

NYQUIST, H., 1928. Certain topics in telegraph transmission theory. *American Institute of Electrical Engineers, Transactions of the*, 47(2), pp.617–644.

PINCHON, P., 1976. *Les oiseaux: faune des antilles francaises*, Fort de France, 326 p.

VENNETIER, M., SASTRE, C. & BRITHMER, R., 2001. Gestion de la biodiversité dans la réserve naturelle de la Caravelle. *Revue Forestière Française*, 53, pp.196–206.

WADDLE, J.H., THIGPEN, T.F. & GLORIOSO, B.M., 2009. Efficacy of automatic vocalization recognition software for anuran monitoring. *Herpetological Conservation and Biology*, 4(3), pp.384–388.

ANNEXES

Annexe 1 : Liste de contacts "*in situ*" avec le Moqueur gorge-blanche (R. brachyurus)

Manifestation présente sur l'enregistrement

Manifestation absente sur l'enregistrement

Jour	Heures	Temps sur la bande	N° SM	Coordonnées (UTM 20N WGS84)	Remarque
18_07	07:08	01:41	2	SM n°1: 727113 1633900 SM n°2: 727282 1633771 SM n°3: 727334 1633847	
	07:15	01:48			
19_07	06:32	01:05	1		
	06:34	01:07			
	07:29	02:02	2		
20_07	07:15	01:48	1		**Fichier corrompu**
	07:17	01:50			
	07:30	02:03			
	07:34	02:07			
	07:37	02:10			
21_07	08:05	02:38	2		
27_07	09:04	03:37	2	SM n°1: 727130 1633797 SM n°2: 727138 1633826 SM n°3: 727140 1633856	
01_08	09:08	03:41	3		
04_08	09:54	04:27	3		
25_08	07:09	01:39	2	SM n°1: 727400 1633904 SM n°2: 727126 1633885 SM n°3: 727427 1633902 SM n°4: 727336 1633839	
	07:23	01:53			
	07:26	01:56			
	07:50	02:20	4		

	08:17	02:47			
	08:19	02:49			
	09:06	03:36			
	09:27	03:57			
	09:30	04:00			
	09:36	04:06	1 & 3		**Qualité médiocre : microphone SM n°1 détérioré**
	09:41	04:11			
	09:48	04:18			
	09:49	04:19			
	09:53	04:23			
	07:34	02:04	2		
28_08	07:50	02:20	4		
	07:51	02:21			
	08:06	02:36			
29_08	08:09	02:39	1 & 3		**Bug SM n°3**
	08:14	02:44			
	08:18	02:48			
	07:30	02:00			
02_09	07:42	02:12	1 & 3		**Bug SM n°3**
	07:46	02:16			
	07:48	02:18			
	07:33	02:03			
	07:35	02:05			
	07:37	02:07			
05_09	07:45	02:15	1 & 3		
	07:47	02:17			
	07:50	02:20			
	07:54	02:24			
12_09	07:56	02:26	1 & 3		
	07:59	02:29			
	08:33	03:03			
	08:34	03:04			
	08:42	03:12			
	08:43	03:13			
15_09	08:44	03:14	1 & 3		**SM n°3 : Fichier corrompu**
	08:45	03:15			
	08:46	03:16			
	08:47	03:17			
	08:48	03:18			
	08:51	03:21			

19_09	08:52	03:22	1 & 3		
	09:15	03:45			
	09:23	03:53			
	09:24	03:54			
	09:53	04:23			
	09:55	04:25			
	09:56	04:26			

Annexe 2 : Cahier des charges

Mission de sous-traitance
Paramétrage, test et validation d'un réseau de capteurs Eko munis de sondes sensorielles et de song meters SM2 implantés in situ

Contexte

La presqu'île de La Caravelle en Martinique semble abriter la dernière population de moqueur gorge blanche de l'île, estimée à 200 individus. Les prospections et les suivis de la reproduction de l'espèce réalisés depuis une décennie (AOMA, Carouge, PNR Martinique) ont permis d'identifier les types de milieux naturels qu'elle recherche et de localiser ces derniers sur la presqu'île grâce à des travaux de télédétection. Cependant, l'habitat optimal de reproduction et de nourrissage (gagnage) de l'espèce n'est pas connu, de même que les modalités d'utilisation de cet habitat (dans le temps).
Or la connaissance de ces éléments permettrait:
-de cartographier finement les sites nécessaires à la conservation de l'espèce
-de définir et de mettre en place des aménagements et des mesures de protection de ces sites permettant une gestion conservatoire de l'espèce en Martinique
-de cibler les protocoles de prospection et de suivis de l'espèce par les ornithologues

Contenu de la mission

L'acquisition de ces connaissances est une priorité du programme LIFE+CAP DOM *Conservation de l'avifaune prioritaire des DOM*, qui comprend un panel d'actions en Martinique.
En 2011, la première étape (action A5 du programme) consiste à valider sur un site test où le moqueur gorge blanche est connu le placement, le paramétrage et les algorithmes de traitements d'un dispositif de capteurs Eko, de leurs sondes sensorielles et de song meters SM2 fournis par le PNR Martinique.

Le sous-traitant aura en charge:

- de prendre contact avec des structures ayant utilisé ce type d'outils pour le suivi de l'avifaune, notamment la SCO en Nouvelle-Calédonie pour affiner les hypothèses de travail et bénéficier de retours d'expérience,
- de récupérer les données générées par le dispositif implanté *in situ* sur un site pilote dans la réserve naturelle de La Caravelle et de veiller à la tenue du matériel,
- de vérifier la pertinence du paramétrage du dispositif (fréquence des signaux, localisation, types de données recueillies) au regard des éléments recherchés (variables environnementales importantes pour l'espèce, utilisation spatiale et temporelle du site par l'espèce), notamment par des observations directes de terrain simultanées selon un protocole établi avec l'AOMA et l'IRD,
- de transmettre les données recceuillies *in situ* au laboratoire LAMIA de l'UAG en charge du développement des algorithmes,
- d'assurer l'interface et le transfert d'information entre l'AOMA, le PNR Martinique, le laboratoire LAMIA de l'UAG et l'IRD.

Résultats attendus

1. Remise d'un rapport méthodologique détaillé sur le paramétrage, l'implantation et les algorithmes de traitement des capteurs Eko munis de sondes sensorielles et des song meters SM2, à déployer sur d'autres sites afin de caractériser l'habitat du moqueur gorge blanche et son utilisation spatiale et temporelle.
2. Remise au réseau de partenaires (AOMA, UAG, PNR Martinique, IRD) d'un article soumis à publication des résultats pour une revue à caractère environnemental.

Ces deux documents devront être scientifiquement validés par l'IRD (Jean-Raphaël Gros-Désormeaux) et le laboratoire LAMIA (Philippe Hunel) avant transmission officielle à la LPO.

Durée et conditions financières

Un montant de 3 600€ net est proposé pour cette mission, estimée d'une durée de trois mois à compter de la signature d'un bon de commande par la LPO.
25% du budget sera transmis en acompte lors du «bon pour accord» transmis par la LPO au prestataire retenu.
Le solde de la prestation sera versé à la remise des deux documents décrits précédemment dans le cadre des résultats attendus.

Grenoble, le 15 juillet 2011