

UNIVERSITÉ DES ANTILLES ET DE LA GUYANE

Laboratoire LAMIA (Laboratoire de mathématiques informatique et applications)

Wildlife and environmental monitoring.

Suivi environnemental et suivi d'espèce animale.

État de l'art
(*avril 2011*)

Nathalie DESSART, Philippe Hunel



Table des matières

1	Introduction	3
1.1	Préambule	3
1.2	Suivi du moqueur : comportement	5
1.3	Suivi du moqueur : habitat	6
2	État de l'art	7
2.1	Généralités	7
2.2	Reconnaissance sonore	11
3	Notre méthodologie	12
3.1	Préambule	12
3.2	Installation des Song Meter sur la Caravelle	14
4	Conclusion	16
	Annexe A : Définitions	17



1 Introduction

1.1 Préambule

La Martinique est un département français situé dans la Caraïbe et qui possède une vaste partie de la biodiversité française. En effet, plus de 98% de la biodiversité nationale est détenu par les territoires et départements français ultra-marins. Territoires qui représentent 22% du territoire français et compte à elle seule 88% de faune et 96% de flore endémiques. En qui concerne les espèces d'oiseaux 61% des espèces endémiques se trouve en Outre-mer. L'objectif principal de ce projet est donc multiple, et il s'agit : d'expérimenter des méthodes de gestion conservatoire innovantes, de protéger des espèces et des habitats menacés en conciliations avec les activités socio-économiques et de développer des outils de suivis, d'évaluation de prise en compte de l'avifaune.

C'est dans ce cadre que s'inscrit le projet LIFE+ CAPDOM qui a pour objectif de mettre en œuvre la sauvegarde de plusieurs oiseaux endémiques sur ces territoires. L'action A5/C5 du CAPDOM focalise son attention sur le « moqueur gorge-blanche » *Ramphocinclus brachyurus*, une espèce qui n'existerait que sur la zone de la presqu'île de la Caravelle, classée « Parc Naturel Régional » tant elle abrite une grande diversité avifaunistique. Les connaissances liées à cette espèce sont peu développées du fait qu'il n'existe que très peu d'observations de cet oiseau et de son habitat. Le LAMIA propose donc de l'étudier sur la presqu'île avec la technologie des *réseaux de capteurs sans fil* (voir Annexe A).

Les réseaux de capteurs ouvrent aujourd'hui la voie à de nouveaux enjeux, notamment ceux qui concernent la biodiversité. utilisés généralement comme fournisseurs de données, ce sont de véritables unités autonomes possédant des capacités de calcul, une mémoire et généralement équipées de sondes pour mesurer des variables physiques. Les capteurs communiquent par onde hertzienne en relayant les informations de capteur en capteur. Leurs performances évoluent à chaque nouvelle génération et il en va de même pour leur champ d'application [25]. Déployés sur une zone, ils peuvent former de véritables systèmes complexes pour surveiller, voire même contrôler. Nous nous proposons d'utiliser cette technologie, couplée à des enregistreurs placés sur le terrain, pour fournir une première étude sur l'habitat de cette espèce. Les capteurs permettent de récupérer certains paramètres abiotiques à proximité des enregistreurs pour construire un système d'informations sur l'habitat de l'espèce. De très récentes études [21, 12, 20, 18, 19] montrent d'ailleurs l'engouement actuel qu'il y a pour l'utilisation des réseaux de capteurs dans la surveillance de la faune et de son habitat naturel.

Les enregistreurs permettent de détecter la présence de l'espèce sur l'habitat. Dans notre cas, il s'agit d'enregistreurs « Song meters » de la société Américaine *WildLife Acoustics*. Placés sur la zone d'expérimentation, ils enregistrent à des heures pré-définies le son ambiant. évidemment, l'écoute de centaines d'heures d'enregistrement pour détecter l'espèce n'est pas aujourd'hui praticable par des moyens humains. Aussi est-ce la raison pour laquelle, ce traitement sera réalisé de façon automatique par une solution logicielle. La littérature scientifique

sur la détection du chant des oiseaux est très fournie et exploite les techniques utilisées en classification automatique supervisée. Une bibliographie des méthodes les plus courantes de détection du chant est disponible en fin de ce rapport. Globalement, ces techniques s'appuient sur l'utilisation d'un « classifieur » construit à l'aide d'empreintes vocales de l'espèce déterminées à partir d'un échantillon d'apprentissage. une approche très largement utilisée dans la reconnaissance des chants d'oiseaux sont les *Hidden Markov Models* (HMM)[9]. C'est également cette méthode qui est utilisée dans le logiciel *Song Scope* de reconnaissance de la société *WildLife Acoustics*. une récente étude montre d'ailleurs que ce procédé est relativement coûteux pour une utilisation directe par des réseaux de capteurs, mais peut devenir exploitable après une simplification de l'échantillon d'apprentissage via *data mining*[23]. On pourra probablement envisager, pour la suite du LiFE+, d'utiliser directement les réseau de capteurs pour détecter la présence du moqueur gorge-blanche sans l'aide des enregistreurs.

Dans le cadre de la participation du Laboratoire LAMIA (Université des Antilles et de la Guyane) au projet Life-Capdom, nous proposons un système de suivi d'espèces en utilisant des technologies innovantes à savoir les réseaux de capteurs sans fils. Nous nous focaliserons essentiellement à l'espèce nominale du Moqueur à Gorge Blanche (*White-breasted Thrasher* ou *Ramphocinclus brachyurus*).

Pour pouvoir proposer des solutions automatisées innovantes pour le suivi du Moqueur à Gorge Blanche et la caractérisation de son habitat, il nous faut étudier et comprendre les habitudes du Moqueur. Nous nous sommes donc rapprochés de spécialistes en ornithologie qui nous ont fournis des renseignements précieux sur cette espèce. Les discussions que nous avons eues avec ces spécialistes sont résumées dans les deux sections qui suivent. Le moqueur à Gorge Blanche est une espèce d'oiseau endémique vivant en milieu naturelle sur la presqu'île de la Caravelle en Martinique (superficie de 5 km²). En 2003, 200 individus ont été dénombrés. La problématique est de pouvoir caractériser son habitat afin de pouvoir envisager une réintroduction de l'espèce dans de nouveaux milieux. Cette étude passe par le relevé de différents facteurs abiotiques sur les lieux de prédilection des Moqueurs à Gorge Blanche, à savoir, les centres d'intérêt alimentaires (zones de gagnage), de reproduction et de repos.

La partie 2 dresse un état de l'art en matière de suivi automatisé d'espèces. Nous verrons que de nombreuses espèces animales ont déjà fait l'objet de ce type d'étude. Notamment les réseaux de capteurs sans fil ont même été testés pour le suivi d'espèces et de milieux sous-marins [27, 26]. Beaucoup de groupes de recherche se focalisent sur cette problématique qui se révèle prometteuse et qui s'inscrit dans une dynamique mondiale de protection de la biodiversité.

1.2 Suivi du moqueur : comportement

Le moqueur à Gorge Blanche présente une particularité par rapport aux autres espèces d'oiseaux, dans le sens où il se nourrit essentiellement à même le sol. En effet, la plupart des espèces d'oiseaux se nourrissent de graines ou de fruits situés en hauteur, sur les arbres par exemple. Parmi les autres espèces côtoyant le moqueur, on retrouve tout de même le merle à lunettes qui se nourrit parfois au sol. On le retrouve essentiellement dans des régions boisées et les broussailles.

Le Moqueur à Gorge Blanche est une espèce qui ne suit pas forcément de comportements grégaires. L'individu évolue généralement seul ou en couple. Des adultes se regroupent tout de même afin de s'occuper de d'une ou plusieurs couvées. Un groupe de quatre ou cinq oiseaux peut être observé à s'occuper d'une dizaine de nids. La période de reproduction se situe entre avril et août. Selon les observations d'experts ornithologues, les individus de l'espèce chantent essentiellement en début de journée. Il en est de même pour toutes les autres espèces d'oiseaux. La presqu'île est donc très bruitée en début de journée. Notons qu'une quinzaine d'espèces d'oiseaux se côtoient dans la presqu'île. Deux types de manifestations sonores existent chez les oiseaux, les chants et les cris. Ces deux manifestations interviennent dans des contextes de vie différents. Les chants sont émis durant la vie normale ou la reproduction, tandis que les cris alertent d'un danger ou de la présence d'un prédateur. Les chants de reproductions concernent essentiellement les mâles de l'espèce. Nous avons pu étudier différents enregistrements (exemple de signal : figure 1) du moqueur à Gorge Blanche, ainsi que des enregistrements donnant un aperçu de bruits de forêts (chants simultanés de plusieurs espèces). Cette étude nous a donné un aperçu de la complexité des signaux pouvant être perçus sur le terrain, ils nous permettront d'ajuster nos algorithmes pour maximiser la détection de l'espèce.

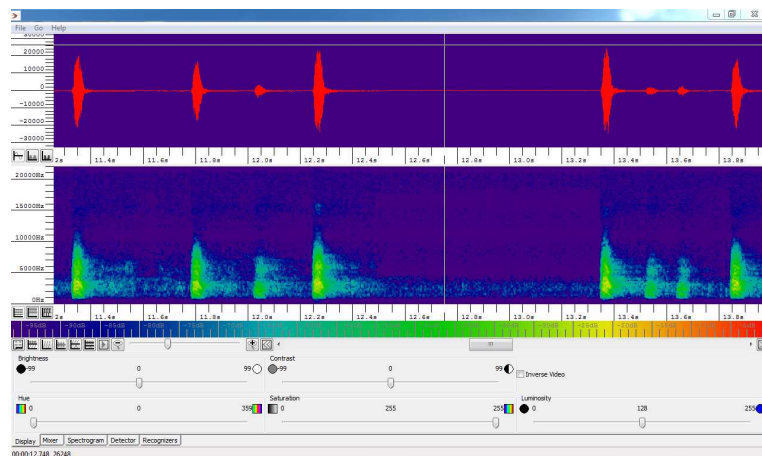


FIGURE 1 – Visualisation du chant d'un Gorge Blanche via le logiciel Song Scope

1.3 Suivi du moqueur : habitat

Plusieurs milieux ont été identifiés comme faisant partie du biotope du Moqueur à Gorge Blanche, citons par exemple, les forêts de type méso-xérophile (relativement secs), les couverts ombragés, les strates inférieures de végétation peu dense, ainsi que les zones proches des zones alluviales et qui sont à l'abri des vents dominants. Les zones favorables de gagnage (voir la figure 2) se trouvent généralement entre 0 et 10 mètres d'un cours d'eau dans un terrain pentu (6% d'inclinaison).

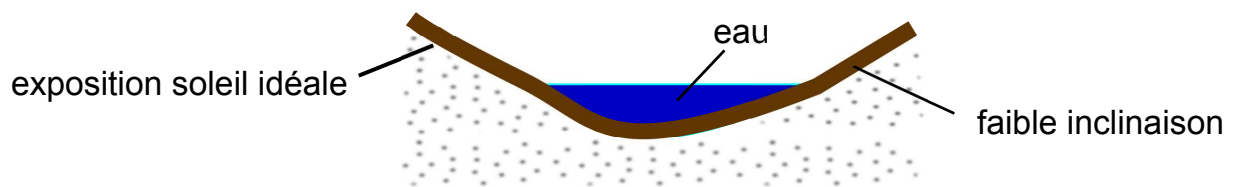


FIGURE 2 – Zone de gagnage idéale

Les zones où le Moqueur s'alimente diffèrent des zones de gagnage. En général, ils s'alimentent au sol dans des zones peu arborées et dont la litière est riche. La figure 3 montre un exemple d'une zone favorable (fig. 3(a)) et d'une zone non favorable (fig. 3(b)).

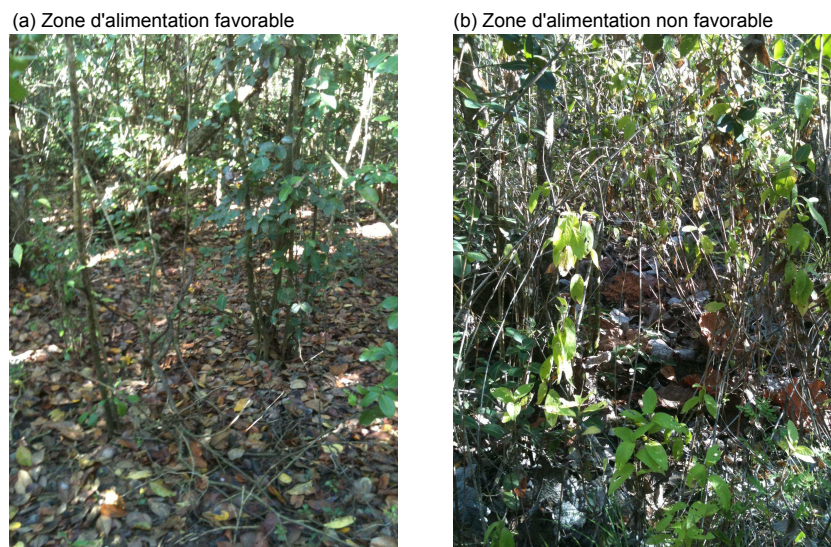


FIGURE 3 – Zone d'alimentation

2 État de l'art

2.1 Généralités

Il existe de nombreux travaux de recherche portant sur le suivi d'espèces en milieu naturel. Dans le parc Naturel de Kakadu [11], Australie, des réseaux de capteurs sans fil ont été déployés pour suivre l'expansion d'une espèce invasive de Crapaud. L'espèce est alors détectée en repérant les cris des individus. Certains [16] ont étudiés la faisabilité d'organiser de façon automatique les zones de pâturage de troupeaux d'élevage. L'idée ici est de pouvoir déterminer le moment où les animaux commencent à évoluer vers une nouvelle zone de pâturage, ce qui indique alors que la zone initiale est devenue trop pauvre. Ainsi, le troupeau entier peut être déplacé vers une nouvelle zone. Des capteurs sans fils équipent certains individus et communiquent avec une station de base afin de collecter les informations nécessaires.

D'autres recherches [1] ont été menées sur la détection des marmottes au Colorado. Les marmottes ont été choisies pour tester les algorithmes proposés, du fait de la singularité de leur cri qui se situe dans une bande de fréquence particulière. Les auteurs précisent les cris d'alertes pourraient même permettre d'identifier un individu, voire d'évaluer son âge ou son sexe.



FIGURE 4 – Équipement utilisé pour la détection des marmottes

Le caractère anisotrope des modèles d'atténuation dans des milieux naturels les a conduit à envisagé une solution dans laquelle ils estiment les directions d'arrivée du signal afin de déterminer où se situent les marmottes. La détection de marmotte se fait grâce à un équipement conséquent, dont la partie électronique (traitement du son, détection) a été réalisée par l'équipe de chercheur.

De nouveaux projets en sont à leur début, comme le projet RatMote [4, 17], dont l'objectif est de suivre l'évolution de rats dans leur milieu naturel (Norvège). L'idée est de fournir une méthode alternative aux méthodes archéologiques classiques (examen et étude des terriers) afin d'étudier l'évolution des espèces en utilisant des capteurs suffisamment puissants pour exécuter des transformée de Fourier rapide.

Citons également TigenCense [2] qui proposent un système de reconnaissance vidéo à l'aide de capteur sans fil afin d'étudier l'évolution dans son milieu naturel d'une espèce menacée, les Tigres. Ils ont menés des expérimentations dans le zoo de Kankaria, Ahmedabad, Gujarat (Inde). Ils se basent sur une détection de mouvement pour repérer les tigres, ainsi au moment où un individu est repéré la prise de clichés photos est enclenchée.

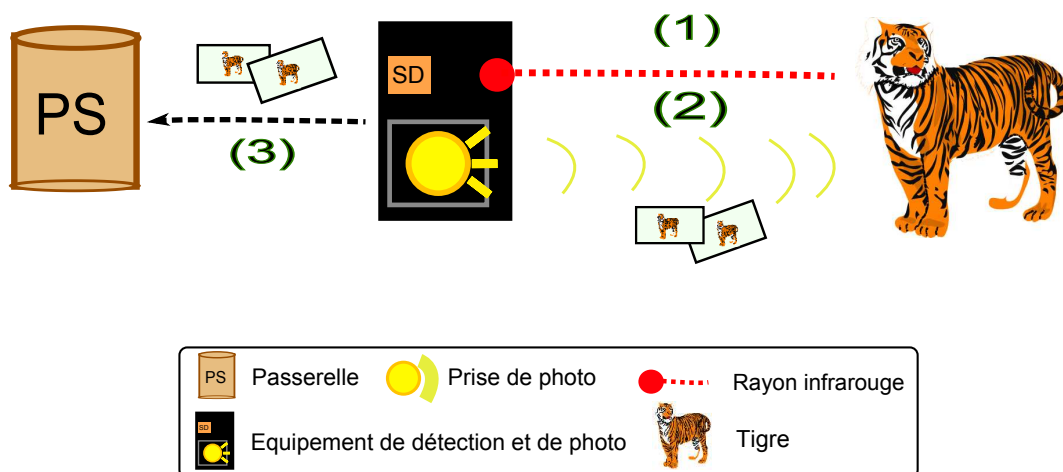


FIGURE 5 – Principe de TigenCense

Dans [28], les auteurs se penchent sur la problématique du suivi d'espèces en voie de disparition. Ils mettent en avant différents inconvénients des méthodes classiques commercialisées de suivi d'espèces, comme par exemple, la portée limitée des dispositifs de suivi ou le temps de rapatriement des données récoltées. Ils proposent alors une architecture matérielle et logicielle pour le suivi d'espèces. Leurs expérimentations ont porté sur les lynx de la forêt de Latvian. Ils proposent d'équiper les animaux de colliers (voir figure 6) capables de déterminer la position GPS de l'animal et certains paramètres abiotiques (température, humidité et lumière ambiante). Lors de leurs tests la station de base a été fixé à un arbre. Ils ont démontré que leurs équipements TRM-433-LT permettaient une portée radio allant jusqu'à 300 mètres contre 165 mètres avec un équipement CC2420. Leurs tests ont également pu montrer que leur dispositif permet un suivi continu durant un mois et demi. Notons que sur une heure, le collier est en mode sommeil durant 97% du temps.

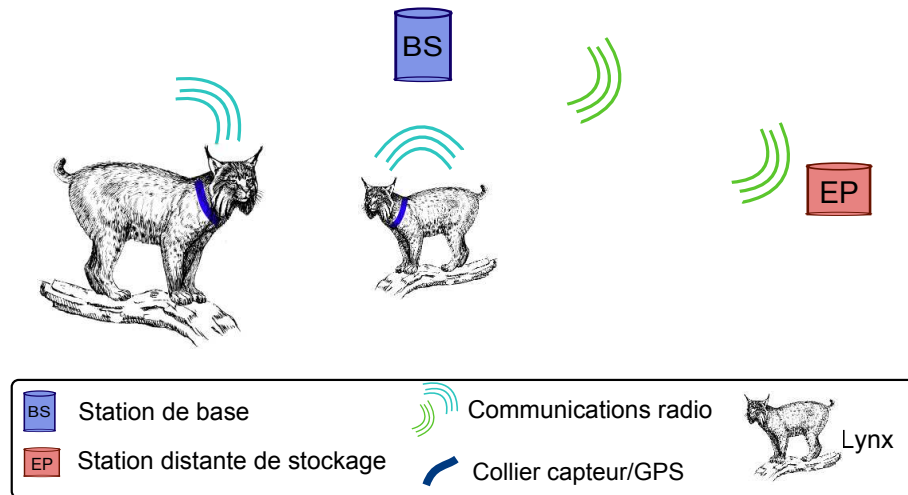


FIGURE 6 – Principe de LynxNet

Certains chercheurs étudient les mouvements de migration de populations d'oiseaux [3] afin de déterminer les changements de comportements et déterminer certains problèmes mettant en danger la survie des espèces ou indiquant des changements forts dans la biodiversité d'une zone donnée. Ils proposent de détecter les oiseaux grâce à leurs cris. Les méthodes traditionnelles d'observations d'espèces se basent sur la localisation des individus mâles. Par la suite le nombre total d'individus est estimé en supposant que chaque mâle est associé à une femelle. Ils ont travaillé sur deux points essentiels concernant la surveillance automatique d'espèces : a) algorithmes de reconnaissance de chants et d'espèces, b) algorithmes d'estimation du nombre d'individus. Ils se sont focalisés sur deux espèces : le butor eurasien et le warbler. Le butor eurasien mâle a un cri caractéristique d'une fréquence moyenne de 150 Hz et dont la fréquence de répétition est également caractéristique. De même, le warbler a un cri particulier constitué de cinquante répétitions par secondes sur une fréquence allant de 3.8 à 8 kHz.



FIGURE 7 – Espèces étudiées dans [3]

Les algorithmes proposés ont été testés sur des enregistrements effectués aux alentours du lac Parstein en Allemagne. Notons que les meilleurs enregistrements obtenus ont été effectués par des microphones placés sur un bateau sur la lac même. Les chants et les cris ont pu être détectés jusqu'à 1 km.

TABLE 1 – Taux de reconnaissance des butors (extrait de [3])

Enregistrement	Durée	Détections	Faux positifs	Faux négatifs
Jour 1	15 :21	3	0	0
Jour 2	15 :41	9	0	0
Jour 3	116 :51	74	20	7
Jour 4	174 :30	77	12	2
Jour 5	97 :15	83	52	1
Total	419 :38	246	84	10

D'autres travaux ont visé à étudier le comportement social des blaireaux européens (*Meles meles*) [24]. Un suivi automatique a été mis en place sur une période d'un an. Le principe général est illustré par la figure 8. Les blaireaux sont équipés de puces RFID (Radio Frequency IDentification), puces qui peuvent contenir des données et les transmettre par fréquence radio. Elles permettent grâce à des récepteurs RFID de suivre l'évolution des animaux dans la forêt. En effet, grâce à cet équipement les individus marqués peuvent être identifiés de façon unique. Les différents capteurs sans fils (TMoteSky de Crossbow) placés sur le terrain servent à mesurer la température et le taux d'humidité toutes les cinq minutes. Les auteurs cherchent ainsi à mettre en corrélation l'évolution des blaireaux sur le terrain et les valeurs de ces différents facteurs. Le relai 3G permet le transfert des données de faible volume qui concernent l'état du réseau, tandis que les données récupérées par les récepteurs RFID sont stockées sur un capteur doté d'un mégaoctet de mémoire flash.

Il existe d'autres travaux concernant le suivi environnemental et animal [15, 10]. Dans l'article [15] les auteurs parlent d'un système planétaire de suivi de l'environnement et des habitants. L'idée est de pouvoir fédérer plusieurs sources d'informations provenant de données satellitaires ou de réseaux de capteurs sans fil et d'ainsi voir l'évolution de la planète. Des données pourraient être également recueillies auprès de la NASA, USGS (U.S. Geological Survey) ou Google, le tout couplé à un système d'information géographique. Ils suggèrent la mise en place d'une plateforme web multi-utilisateurs, ainsi que de différents outils open source¹.

1. Outils dont on peut accéder librement au code source

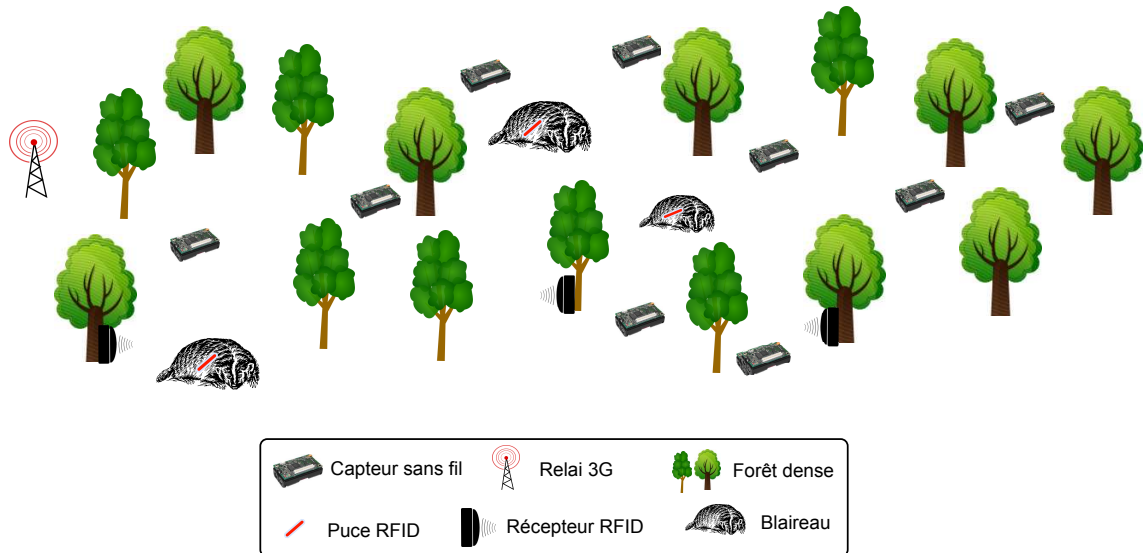


FIGURE 8 – Principe du suivi de blaireaux

2.2 Reconnaissance sonore

La reconnaissance sonore ou acoustique consiste à identifier un patron donné dans une source sonore. Par exemple, si l'ambiance acoustique d'une forêt est enregistrée sur une période d'un jour, il s'agira de savoir si telle ou telle espèce animale a été enregistrée. Dans notre cas nous cherchons à identifier des chants et des cris d'oiseaux. Les travaux de reconnaissance sonore ont d'abord débuté par la reconnaissance vocale, c'est à dire la reconnaissance de mots prononcés par un humain. Cette reconnaissance passe par plusieurs quatres étapes :

1. l'acquisition du son analogique
2. la numérisation du son
3. la paramétrisation (génération d'une empreinte de référence)
4. et la comparaison de l'empreinte candiate avec l'empreinte de référence

Les deux premières étapes consistent à acquérir plusieurs échantillons sonores. Le première classe d'échantillons va permettre de générer une ou plusieurs empreintes de référence qui vont caractériser le cri ou le chant d'une espèce d'oiseau. Ces échantillons doivent être de différentes natures. Nous avons à la fois avoir des échantillons où le chant de l'oiseau est suffisamment audible (absence de bruit ou peu de bruit) et d'autres échantillons où le signal sonore correspondant au chant sera plus bruité (vent, pluie, autres cri d'animaux, activité humaine). Les empreintes de référence serviront par la suite à identifier l'espèce.

La deuxième classe d'échantillons qui sera enregistrée va correspondre à un suivi régulier sur plusieurs jours ou plusieurs semaines. A partir de là le but sera de savoir si notre espèce

s'est manifestée ou non pendant cette période et à quels moments. La encore les échantillons seront converties en empreintes que nous appellerons « empreinte candidate ».

La troisième étape consiste à obtenir des empreintes sonore à partir des échantillons enregistrés. La paramétrisation peut être obtenue par différentes méthodes : les méthodes spectrales (par exemple par transformée de Fourier : FFT) ou les méthodes d'identification (par exemple par codage prédictif linéaire : LPC).

Enfin la dernière étape consiste à identifier l'espèce étudiée. Ils existe ici encore plusieurs méthodes. Les méthodes statistiques, telles que celles basées sur le Modèle de Markov Caché (MMC)²[5, 8, 9, 23]. Certains chercheurs [6, 14, 13] utilisent des réseaux de neurones ou différentes techniques de classification distribuée [7]. L'identification est également possible en utilisant un processus de fouille de données³ [23, 22].

3 Notre méthodologie

3.1 Préambule

Dans le cadre du suivi du Moqueur sur la presqu'île de la Caravelle et de la caractérisation de son habitat, nous allons adopter une démarche incrémentale et comparative afin d'éprouver plusieurs scénarios types. Nous allons tester trois scénarios. Les premiers tests seront effectués (voir figure 9(a)) avec les capteurs qui sont déjà en possession du LAMIA. A savoir des micaZ de Crossbow. Nous voulons mettre en place un algorithme de reconnaissance des chants ou des cris des moqueurs à gorge blanche. L'idée est de pouvoir simuler l'environnement qui sera mis en place à la disponibilité des nouveaux types de capteurs et des des Song Meter. Nous avons pour cela récupérer des enregistrements d'une part, de chants du Moqueur à Gorge Blanche et d'autre part d'ambiance de la forêt. Lors d'une visite sur site effectuée le dimanche 13 Mars 2011, nous avons de compléter notre base sonore mais les sons acquis n'ont pas été satisfaisants car les individus de l'espèce sont restés discrets.

Le second scénario (voir figure 9(b)) consiste a coupler chaque Song Meter (SM) à un capteur équipé de trois sondes. Ces sondes permettront de mesurer l'humidité et la température au sol, la température et le taux d'humidité ambiants et la luminosité. Nous vons déjà reçu les song meters et les capteurs EKO. Une fois la solution éprouvée, le troisième scénario consistera a couplé chaque Song Meter (SM) à trois capteurs EKO. Les sondes mesurent toujours l'humidité et la température au sol, la température et le taux d'humidité ambiants et la luminosité.

2. En anglais : Hiden Markov Model (HMM)

3. En anglais ; data mining

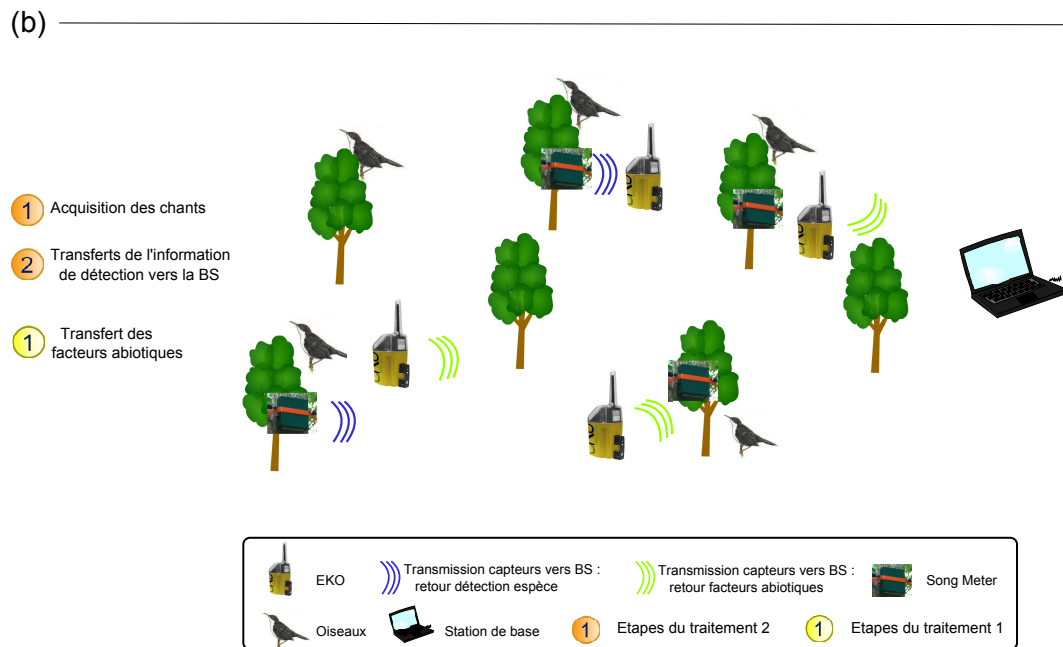
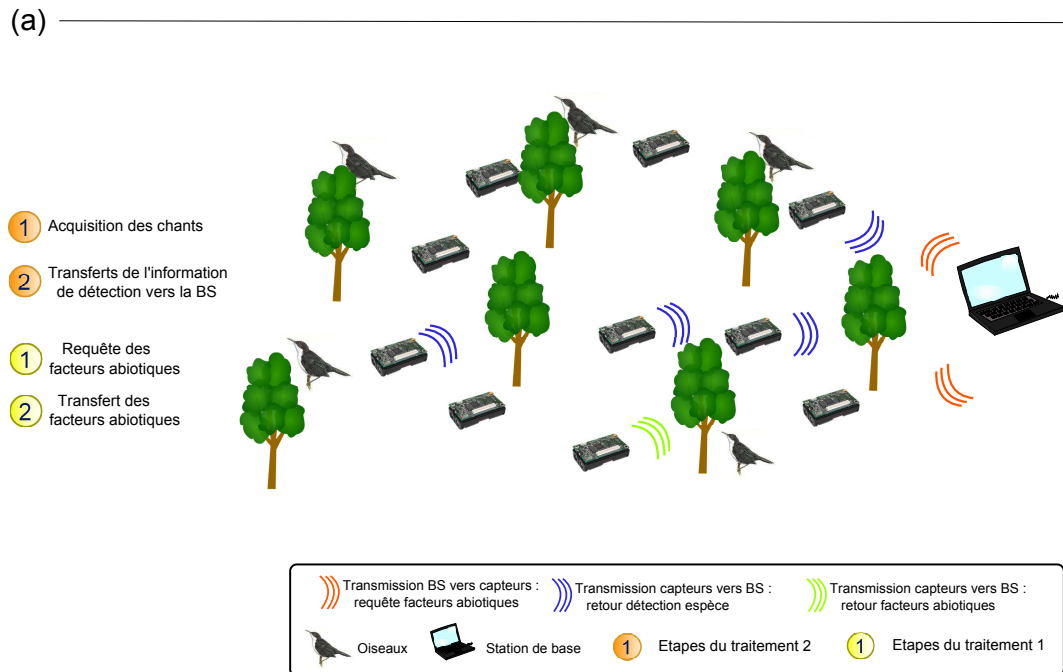


FIGURE 9 – Scénario : utilisation des micaz, utilisation des Eko et des SongMeter

3.2 Installation des Song Meter sur la Caravelle

Les Song Meter se présentent sous forme de boîtier étanche (voir figure 10) sur lequel peuvent être installés, deux microphones, une source d'alimentation externe et une sonde (notamment le module GPS externe). Sous le capot étanche, on retrouve tout le système électronique permettant l'acquisition du son. Il y a une source d'alimentation interne constituée de quatre piles type D Alkaline.

Les Song Meter possède quatre ports permettant d'insérer des cartes SD de capacité maximale de 32 Go, pour le stockage de l'information. L'horloge interne est maintenue par une seconde source d'alimentation interne (pile AA). Différents boutons permettent de configurer le Song Meter et un écran de contrôle permet de visualiser la configuration. Cette configuration peut être également effectuée grâce au logiciel SMConfigInstaller (voir figure 11) fourni par *Wildlife Acoustics*, puis chargée sur la carte SD.

Le son est enregistré sous un format brut (fichier .wav) ou sous format compressé (fichier .wac). Plusieurs taux de compression sont disponibles et selon le jeu de paramètres choisis un Song Meter permet d'acquies jusqu'à 233 heures d'enregistrement sur 10 jours (en enregistrant 24H/24). De plus les microphones permettent un enregistrement mono ou stéréo.

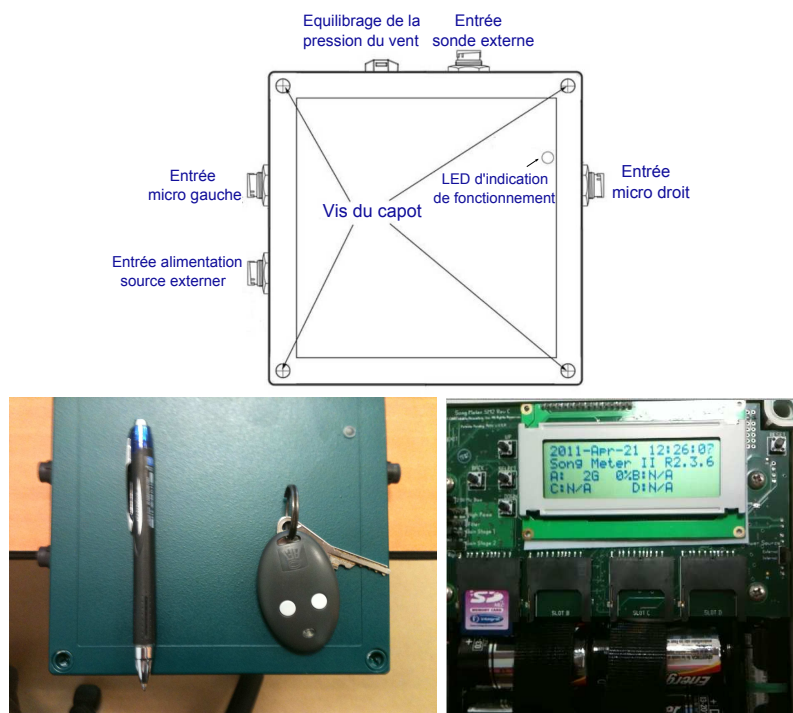


FIGURE 10 – Schéma externe d'un Song Meter, Vue avec et sans capot

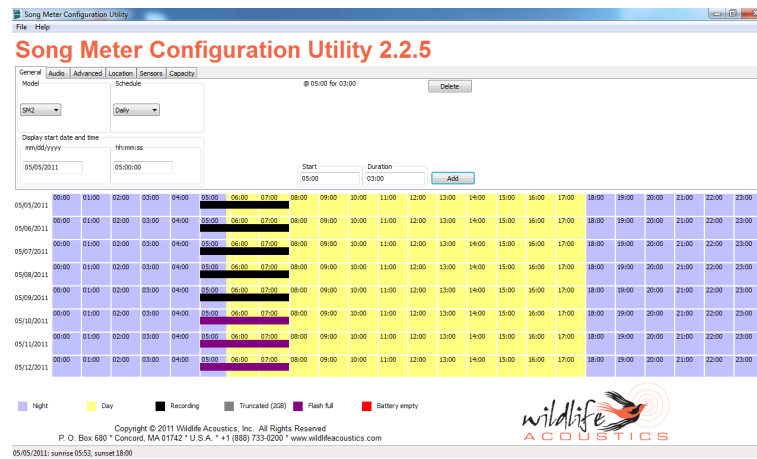


FIGURE 11 – Interface du logiciel de configuration

Le mercredi 4 Mai 2011, nous avons procédé à l'installation d'un Song Meter sur le site de la presqu'île de la Caravelle. L'appareil a été placé en hauteur et fixé sur un arbre à l'aide d'une sangle(voir figure 12). Ce Song Meter a été programmé pour enregistrer sur une période de cinq jours entre 5H et 8H du matin(figure 11).



FIGURE 12 – Song Meter installé sur la presqu'île

4 Conclusion

Dans ce document nous avons présenté un état de l'art concernant le suivi d'espèces animales en utilisant les réseaux de capteurs. Nous avons également présenté ce qu'est la reconnaissance acoustique en donnant les différentes étapes nécessaire à la détection d'une espèce donné. Le champs de la reconnaissance de d'espèces d'oiseaux a déjà été exploré à l'aide plusieurs méthodes : méthodes statistiques, réseaux de neurones, classification ou encore fouille de données. Toutes ces méthodes n'ont pas été forcément été étudiées dans le cadre des réseaux de capteurs dans fil.

Nous avons également fait le point sur nos travaux de recherche et sur la méthodologie que nous adoptons. Nous voulons mettre en place un système automatique de suivi du Moqueur à Gorge Blanche et de son habitat en utilisant les Song Meter, les capteurs Eko et les différents algorithmes que nous mettront en place. Les enregistrements réalisés par le Song Meter seront récupérer et l'idée sera d'identifier les chants et cri du Moqueur afin de pouvoir avoir une base d'empreintes permettant la reconnaissance. Ces investigations seront menées conjointement avec des spécialiste de l'AOMA et du Laboratoire GEODE.

Les premiers tests des capteurs EKO vont commencer étant donné que la matériel est maintenant à notre disposition.

Annexe A : Définitions

Capteurs sans fil : Petits circuits intégrés comprenant une mémoire embarquée, un élément de mesure (sonde), une batterie et ayant une capacité de calcul (algorithmes spécifiques, personnalisés). Ils possèdent également une unité de communication radio (généralement basée sur la norme ZigBee de la *ZigBee Alliance*).

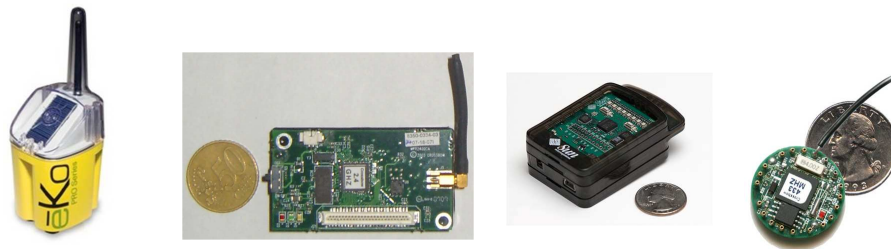


FIGURE 13 – Exemple de capteurs sans fil : EKO, micaZ, SunSPot, micaDot

Réseau de capteurs sans fil : Ensemble de plusieurs capteurs (parfois des centaines) déployés dans un environnement (animaux, patients, lieu, etc.) et capables de capturer et de pré-traiter des données (température, luminosité, taux d'humidité, pouls, etc.). Ces capteurs sont associés à une station de base permettant le stockage pérenne des données et leur analyse de façon plus complexe. Un réseau de capteur sans fil a pour but de collecter, traiter et transmettre des informations prise au sein d'un environnement. Certains capteurs plus puissants que les autres (en terme de portée radio et de capacité de calcul) peuvent jouer le rôle de puits. Les capteurs puits agrègent les données venant d'un groupe de capteurs et se sont eux qui sont alors en charge de transférer ces données vers la station de base.

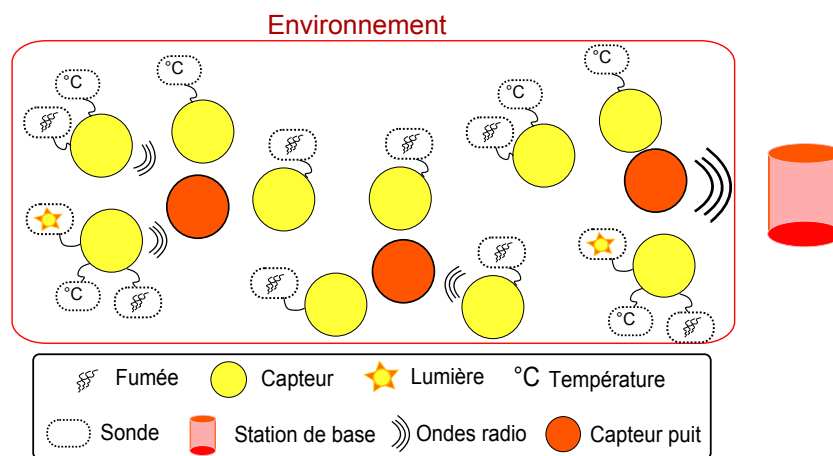


FIGURE 14 – Exemple de réseau de capteurs

Références

- [1] Andreas M. Ali, Kung Yao, Travis C. Collier, Charles E. Taylor, Daniel T. Blumstein, and Lewis Girod. An empirical study of collaborative acoustic source localization. In *Proceedings of the 6th international conference on Information processing in sensor networks*, IPSN '07, pages 41–50, New York, NY, USA, 2007. ACM.
- [2] Jain V.R. Kumar A. Ranjan P. Bagree, R. Tigercense : Wireless image sensor network to monitor tiger movement. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 6511 LNCS :13–24, 2010. cited By (since 1996) 0.
- [3] R. Bardeli, D. Wolff, F. Kurth, K. H. Koch, M. and tauchert, and K. Frommolt. Detecting bird sounds in a complex acoustic environment and application to bioacoustic monitoring. *Pattern Recogn. Lett.*, pages 1524–1534, 2010.
- [4] Jó Ágila Bitsch Link, Thomas Bretgeld, André Goliath, and Klaus Wehrle. Ratmote : a sensor platform for animal habitat monitoring. In *Proceedings of the 9th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks*, IPSN '10, pages 432–433, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- [5] T. S. Brandes. Feature Vector Selection and Use With Hidden Markov Models to Identify Frequency-Modulated Bioacoustic Signals Amidst Noise. *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 16(6) :1173–1180, 2008.
- [6] Jinhai Cai, D. Ee, Binh Pham, P. Roe, and Jinglan Zhang. Sensor Network for the Monitoring of Ecosystem : Bird Species Recognition. In *Proc. 3rd Int. Conf. Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information ISSNIP 2007*, pages 293–298, 2007.
- [7] Xu Cheng, Ji Xu, Jian Pei, and Jiangchuan Liu. Hierarchical distributed data classification in wireless sensor networks. In *Proc. IEEE 6th Int. Conf. Mobile Adhoc and Sensor Systems MASS '09*, pages 10–19, 2009.
- [8] Chih-Hsun Chou, Chang-Hsing Lee, and Hui-Wen Ni. Bird Species Recognition by Comparing the HMMs of the Syllables. In *Proc. Second Int. Conf. Innovative Computing, Information and Control ICICIC '07*, 2007.
- [9] Mark Gales and Steve Young. The application of hidden Markov models in speech recognition. *Found. Trends Signal Process.*, 1 :195–304, January 2007.
- [10] F. ; Malone G. ; Kemp J. Goldsmith, D. ; Liarokapis. Augmented reality environmental monitoring using wireless sensor networks. *Information Visualisation, IV'08. 12th International Conference*, pages 539–544, 2008.
- [11] Wen Hu, Nirupama Bulusu, Chun Tung Chou, Sanjay Jha, Andrew Taylor, and Van Nghia Tran. Design and evaluation of a hybrid sensor network for cane toad monitoring. *ACM Trans. Sen. Netw.*, 5 :4 :1–4 :28, February 2009.
- [12] Jyh-How Huang, Ying-Yu Chen, Yu-Te Huang, Po-Yen Lin, Yi-Chao Chen, Yi-Fu Lin, Shih-Ching Yen, P. Huang, and Ling-Jyh Chen. Rapid Prototyping for Wildlife and Ecological Monitoring. 4(2) :198–209, 2010.

- [13] A. L. McIlraith and H. C. Card. Birdsong recognition with DSP and neural networks. In *Proc. IEEE Communications, Power and Computing WESCANEX 95*, volume 2, pages 409–414, 1995.
- [14] A. L. McIlraith and H. C. Card. Bird song identification using artificial neural networks and statistical analysis. In *Proc. IEEE 1997 Canadian Conf. Electrical and Computer Engineering*, volume 1, pages 63–66, 1997.
- [15] Kevin Montgomery and Carsten Mundt. A new paradigm for integrated environmental monitoring. In *Proceedings of the 1st International Conference and Exhibition on Computing for Geospatial Research & Application, COM.Geo '10*, pages 29 :1–29 :7, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- [16] E. S. Nadimi, H. T. Sogaard, T. Bak, and F. W. Oudshoorn. Zigbee-based wireless sensor networks for monitoring animal presence and pasture time in a strip of new grass. *Comput. Electron. Agric.*, 61 :79–87, May 2008.
- [17] Thiele J. Bitsch J. Wehrle K. Osechas, O. Ratpack : wearable sensor networks for animal observation. *Conference proceedings : ... Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Conference*, 2008 :538–541, 2008. cited By (since 1996) 1.
- [18] M. Rutishauser, V. V. Petkov, J. Boice, K. Obraczka, P. Mantey, T. Williams, and C. Wilmers. CARNIVORE : A Disruption-Tolerant System for Studying Wildlife. In *Proc. 19th Int Computer Communications and Networks (ICCCN) Conf*, pages 1–8, 2010.
- [19] S. Sivaramakrishnan and A. Al-Anbuky. Analysis of network connectivity : Wildlife and Sensor Network. In *Proc. Australasian Telecommunication Networks and Applications Conf. (ATNAC)*, pages 1–6, 2009.
- [20] S. Sivaramakrishnan, A. Al-Anbuky, and B. B. Breen. Adaptive sampling for node discovery : Wildlife monitoring & sensor network. In *Proc. 16th Asia-Pacific Conf. Communications (APCC)*, pages 447–452, 2010.
- [21] A. Tovar, T. Friesen, K. Ferens, and B. McLeod. A DTN wireless sensor network for wildlife habitat monitoring. In *Proc. 23rd Canadian Conf. Electrical and Computer Engineering (CCECE)*, pages 1–5, 2010.
- [22] E. Vilches, I. A. Escobar, E. E. Vallejo, and C. E. Taylor. Data Mining Applied to Acoustic Bird Species Recognition. In *Proc. 18th Int. Conf. Pattern Recognition ICPR 2006*, volume 3, pages 400–403, 2006.
- [23] Erika Vilches, Ivan A. Escobar, Edgar E. Vallejo, and Charles E. Taylor. Targeting Input Data for Acoustic Bird Species Recognition Using Data Mining and HMMs. In *Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Data Mining Workshops, ICDMW '07*, pages 513–518, Washington, DC, USA, 2007. IEEE Computer Society.
- [24] David W. Macdonald Andrew Markham Cecilia Mascolo Bence Pasztoe Salvatore Scelato Niki Trigoni Ricklef Wohlers Vladimir Dyo, Stephen A. Ellwood and Kharsim Yousef. Evolution and sustainability of a wildlife monitoring sensor network. *Accepted to appear in ACM Transactions on Sensor Networks*, 2011.

-
- [25] Brett Warneke, Matt Last, Brian Liebowitz, and Kristofer S. J. Pister. Smart Dust : Communicating with a Cubic-Millimeter Computer. *Computer*, 34(1) :44–51, January 2001.
- [26] Liu K. Cui Y. Zhang J. Yang, X. Modeling and simulation for maritime surveillance sensor networks. pages 215–219, 2010. cited By (since 1996) 0.
- [27] Xiuna Zhu, Daoliang Li, Dongxian He, Jianqin Wang, Daokun Ma, and Feifei Li. A remote wireless system for water quality online monitoring in intensive fish culture. *Comput. Electron. Agric.*, 71 :S3–S9, April 2010.
- [28] Elsts A. Strazdins G. Mednis A. Selavo L. Zviedris, R. Lynxnet : Wild animal monitoring using sensor networks. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 6511 LNCS :170–173, 2010. cited By (since 1996) 0.