

**Projet : Concevoir un observatoire acoustique pour la Réserve Naturelle
Nationale de l'Estuaire de la Seine (RNNE)**



**Groupe : Les Butornithologues - Audrey BOURHIS / Marine SAINTOT / Louise
HINARD / Emma DURAND / Vadim MARCHAND**

Table des matières

I. Introduction.....	3
II. Cahier des charges.....	4
1. Contexte et Objectif.....	4
a. Méthode QQQQCP.....	4
b. Diagramme de la bête à corne.....	4
c. Délimitation du projet.....	5
2. Description fonctionnelle des besoins.....	6
a. Observation.....	6
b. Transport des données.....	6
c. Analyse des données.....	6
d. Interface.....	6
e. Synoptique de fonctionnement.....	7
3. Délai.....	7
III. Gestion de projet.....	8
1. Répartition des tâches.....	8
2. Analyse fonctionnelle des besoins.....	8
IV. Développement de l'observatoire autonome.....	9
1. Choix des technologies.....	9
a. Etude du choix du microphone.....	9
b. Etude du positionnement des microphones.....	10
c. Transmission d'information.....	11
2. Traitement des données.....	13
a. Reconnaissance du butor étoilé.....	13
b. Détection de la position.....	13
c. Base de données.....	14
d. Visualisation des données.....	15
Conclusion.....	16
Bibliographie.....	17

I. Introduction

La biodiversité des zones humides est menacée par divers facteurs, notamment les changements climatiques et donc environnementaux, ainsi que la destruction des habitats par les activités humaines. Dans cette étude, nous choisissons de nous intéresser au cas de figure du butor étoilé (*Botaurus stellaris*), une espèce de la famille des hérons dont la raréfaction est un indicateur de la santé des écosystèmes de la région.

Ces dernières années, la population de butors étoilés a connu un déclin alarmant, en particulier au sein de la Réserve Naturelle Nationale de l'Estuaire de la Seine (RNNES). Afin de caractériser cette diminution inquiétante, le nombre de mâles chanteurs recensés dans cette zone est passé de 15 en 2010 à seulement 1 en 2019. Ce déclin pose de nombreuses questions sur les causes de cette disparition progressive et les mesures à adopter pour enrayer ce phénomène.

Afin de mieux comprendre les dynamiques de population de cette espèce et d'identifier les facteurs environnementaux qui influencent son habitat, l'objectif est de mettre en place un observatoire autonome basé sur l'enregistrement et l'analyse des vocalisations du butor étoilé. Grâce à un réseau de microphones et à des algorithmes de reconnaissance sonore, ce dispositif permettra de suivre la présence précise et l'évolution de l'espèce dans son habitat naturel, en limitant autant que faire se peut les perturbations extérieures liées à l'environnement dans lequel évolue le Butor, voire aux perturbations techniques.

Ce projet vise ainsi à fournir des données précieuses pour les chercheurs, les gestionnaires d'espaces naturels et les acteurs de la conservation, afin de mettre en place des stratégies adaptées pour préserver le butor étoilé et restaurer son habitat.

II. Cahier des charges

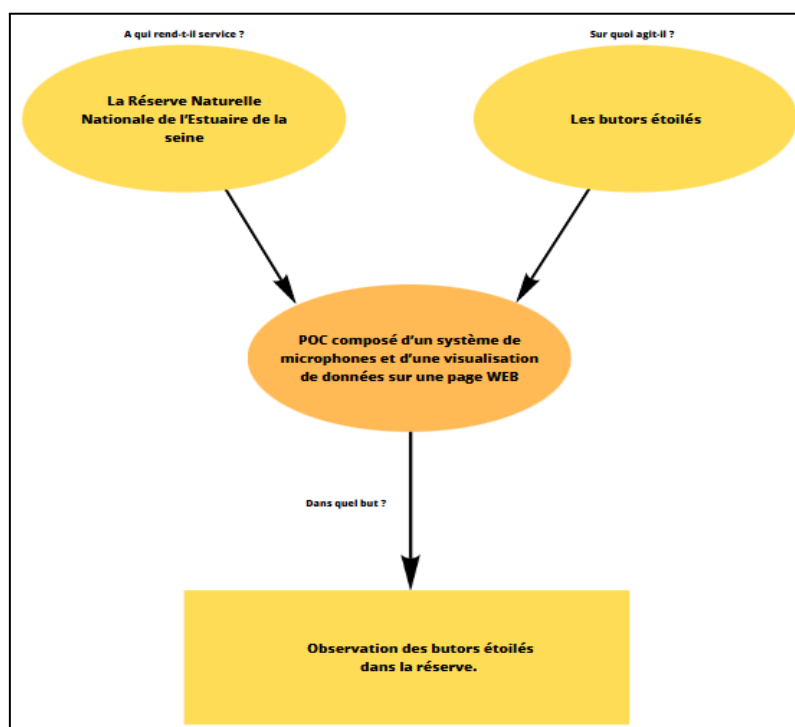
1. Contexte et Objectif

a. Méthode QQQQCP

Afin de comprendre le besoin du client, la méthode QQQQCP intervient :

Quoi	Concevoir un observatoire acoustique capable de détecter et d'enregistrer les chants des Butors étoilés, tout en assurant la transmission des données collectées.
Qui	La Réserve Naturelle Nationale de l'Estuaire de la Seine (RNNES)
Où	La RNNES se situe en Normandie sur 10 000 ha de zone humide
Quand	La réalisation du projet se déroule de janvier à fin mars 2025
Comment	La détection du chant du Butor étoilé repose sur l'installation de microphones permettant de capter les sons environnants, ainsi que sur des émetteurs assurant la transmission des données collectées.
Pourquoi	Cette approche est utilisée pour estimer le nombre d'individus présents dans une zone donnée, facilitant ainsi leur suivi et leur conservation.

b. Diagramme de la bête à corne



c. Délimitation du projet

La Réserve Naturelle Nationale de l'Estuaire de la Seine (RNNES) est une des plus grandes réserves naturelles. Elle est située en Normandie, à proximité du Havre. Elle offre des milieux diversifiés très favorables à l'avifaune qui constituent des sites d'hivernage et de nidification d'importance internationale.

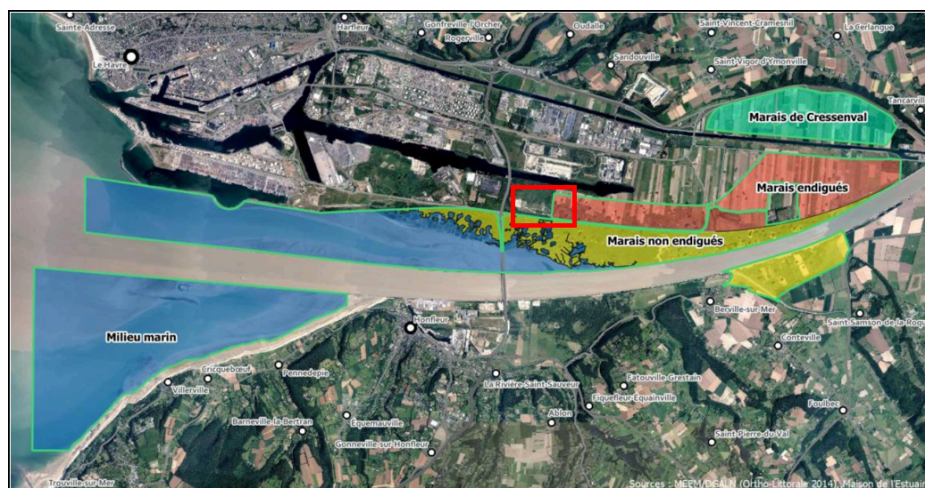


Figure : Localisation de la RNNES

L'étude portera sur la zone située à l'intérieur des limites définies par le cadre rouge sur la figure au-dessus. La zone de couverture est d'une longueur de 4 kilomètres et d'une largeur de 2 kilomètres. Cette zone correspond à la zone historique d'écoute et de localisation du butor étoilé en 2019, lors d'une étude similaire. Les points d'écoute et d'enregistrement sont notés respectivement en jaune et rouge sur la carte ci-dessous.

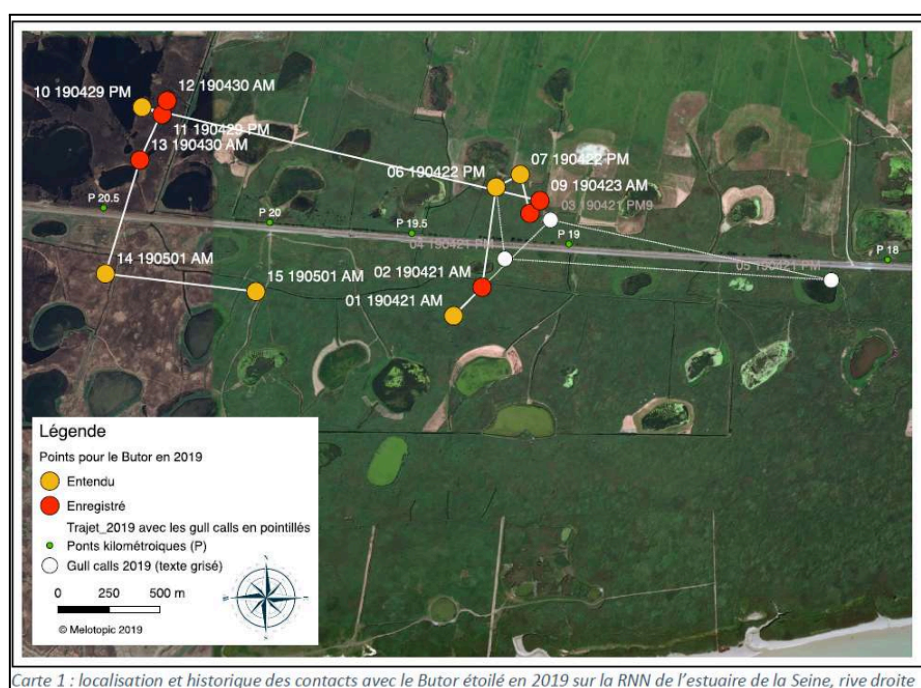


Figure : Localisation des contacts avec le Butor étoilé en 2019

2. Description fonctionnelle des besoins

Le projet est divisé en 4 étapes majeures : observation, transport des données, analyse des données et interface.

a. Observation

Dans un premier temps, il faut capturer les informations nous permettant d'identifier les butors étoilés dans leur environnement. L'oiseau est reconnaissable par son chant, qui varie entre 150 et 300 Hz. Plusieurs microphones devront être déployés, afin de couvrir au maximum la zone et donc d'identifier le plus précisément possible l'endroit d'où le chant à été émis. Les valeurs de GPS et de temporalité sont donc importantes.

b. Transport des données

Il faut ensuite transporter les données recueillies par les capteurs via un dispositif sans-fil pour pouvoir les analyser. On utilisera un système idéalement peu coûteux, économe en énergie et autonome, ce qui permettra de limiter la maintenance et donc les coûts humains. Dans la mesure du possible, le système devra tendre vers un suivi en temps réel.

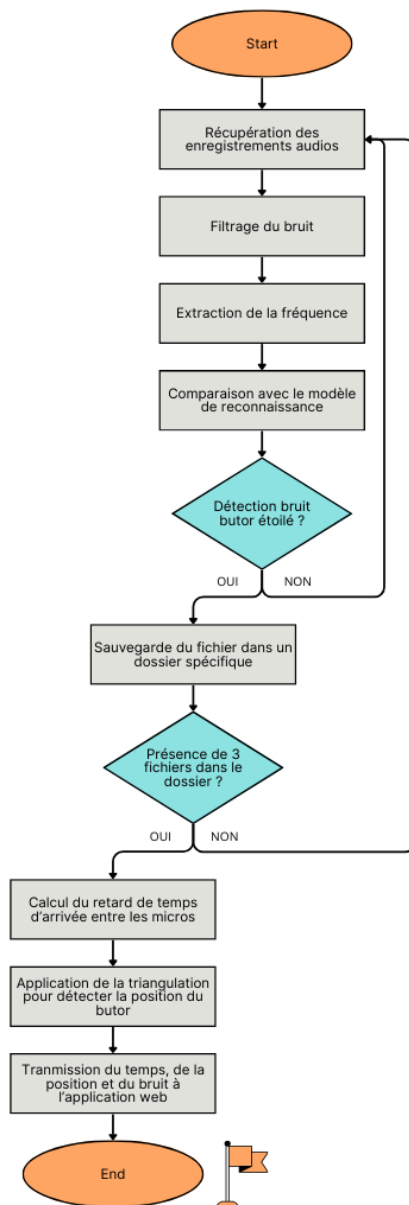
c. Analyse des données

Une fois les données reçues sur un serveur, elles doivent être analysées. D'abord identifier la présence ou non d'un cri de butor dans la bande enregistrée, puis traiter le micro à l'origine et croiser les champs de capture. A partir de toutes ces informations, l'oiseau est localisé relativement précisément. Afin de reconnaître le cri d'un butor parmi tous les sons émis par un écosystème, surtout avec autant d'enregistrements et de microphones très sensibles, il est nécessaire d'avoir une fiabilité dans l'identification. Cela se fait grâce à une analyse des enregistrements positifs et négatifs de cris de Butor lors de l'étude de 2019, qui sert de base très solide à notre étude.

d. Interface

Enfin, l'utilisateur doit pouvoir visualiser clairement les données sur une page WEB. La page doit contenir une carte où les oiseaux seront placés suivant leur localisation et l'heure d'identification. Un historique des enregistrements sera aussi accessible sur l'application, afin de représenter dans le temps l'évolution de ceux-ci, et potentiellement d'identifier des erreurs ou des incohérences dans les écoutes.

e. Synoptique de fonctionnement



Synoptique de fonctionnement de notre étude technique.

3. Délai

Le projet doit être réalisé dans un délai de huit semaines. Il débute le 10 janvier 2025, le rapport de faisabilité est attendu pour le 23 mars, puis la réalisation technique pour le 23 mai 2025.

III. Gestion de projet

1. Répartition des tâches

Concernant les outils de gestion de projet, nous n'avons pas eu recours à un diagramme de Gantt. Lors des différentes séances de travail, nous avons organisé notre progression en répartissant les tâches sous forme de sprints. Cette méthode nous a permis d'avancer de manière efficace sur les différentes parties du projet. À la fin de chaque séance, nous faisons un débriefing collectif afin de partager l'état d'avancement de chacun, de nous coordonner et de nous apporter des conseils mutuels. Le projet était structuré en trois grandes parties : le choix des microphones, l'étude du système de triangulation, ainsi que l'analyse du traitement des signaux et de la base de données. Notre groupe étant composé de six personnes, nous étions répartis à deux sur chacune de ces thématiques.

2. Analyse fonctionnelle des besoins

Fonctions principales :

- **FP1. Détection du butor étoilé** : Le microphone devra enregistrer l'environnement du butoir étoilé afin de reconnaître son chant spécifique.
- **FP2. Calcul de la position du butor étoilé** : La position du butor étoilé sera calculée par triangulation.
- **FP3. Transmission des données** : Les enregistrements des microphones doivent être transmis à une base de données via un réseau.
- **FP4. Visualisation des données sur une carte** : Les informations de position de l'oiseau doivent être présentées de manière claire et facile à comprendre sur une page web depuis un ordinateur. L'animal doit être affiché sur une carte.
- **FP5. Visualisation de l'historique de position des butors étoilés** : L'utilisateur du site web doit pouvoir visualiser les données anciennes recueillies par les capteurs, et pouvoir visualiser l'historique des déplacements.

Fonction secondaire :

- **FS1. Accessibilité** : Le système doit être accessible depuis différents appareils, comme les ordinateurs, les tablettes et les smartphones, pour une utilisation facile et flexible.

Fonctions de contraintes :

- **FC1. Placement des microphones dans l'environnement** : Les microphones doivent être placés dans l'environnement de manière à ce qu'ils puissent écouter l'ensemble de la zone étudiée.
- **FC2. Mesures des microphones** : le microphone doit être capable de fonctionner dans des conditions variées, comme dans des zones reculées ou dans des zones couvertes.

- **FC3. Transmission des données** : La fréquence de transmission sera déterminée en fonction du réseau choisi, mais elle doit être suffisamment élevée pour pouvoir déterminer la localisation en temps réel des butors et suffisamment petite pour ne pas saturer le réseau.
- **FC4. Sécurité des données** : Les données doivent être protégées contre les accès non autorisés. Il doit être possible de configurer les autorisations d'accès pour différents utilisateurs.
- **FC5. Fiabilité** : Le système doit être fiable et fonctionner sans interruption pour garantir une surveillance en continu de l'animal. Il doit posséder une source d'alimentation électrique durable dans le temps.
- **FC6. Maintenance** : Les mises à jour et les réparations doivent être faciles à effectuer pour garantir une utilisation continue du système et limiter les frais.

IV. Développement de l'observatoire autonome

1. Choix des technologies

Un travail de recherche est demandé pour choisir les technologies qui sont les plus adaptées au projet. En effet, les choix technologiques dépendent d'eux même : tous les capteurs ne sont pas compatibles avec tous les microcontrôleurs qui eux même ne sont pas compatibles avec tous les réseaux. Ils seront basés sur les contraintes du projet, les contraintes apportées par d'autres choix et la disponibilité des objets.

a. Etude du choix du microphone

L'écoute et l'enregistrement des chants du Butor nécessitent des microphones. Pour choisir le modèle de microphone optimal pour la détection des oiseaux, il faut bien réfléchir en amont au nombre de microphones à disposer et leur emplacement.

Les microphones doivent présenter les caractéristiques suivantes :

- **Portée** : il faudrait une portée élevée pour minimiser le nombre de microphones à mobiliser. Les microphones à privilégier sont ceux qui ont une portée de 100 à 500m.
- **Type** : Plus l'angle est grand, moins il y a de microphones à utiliser (tout en faisant attention à la précision). Pour un rendement optimal, on estime que les modèles paraboliques à 180° sont les plus adaptés.
- **Fréquence** : L'appel principal du butor étoilé se situe entre 150 Hz et 300 Hz, avec des pics autour de 200 Hz : l'essentiel de l'énergie acoustique reste dans les basses fréquences. Les microphones qui enregistrent les basses fréquences sont donc à privilégier.
- **Prix** : Le prix du matériel doit rester raisonnable.

De nombreuses recherches ont été menées afin de trouver le microphone le plus adapté au projet et sont regroupées dans le tableau suivant :

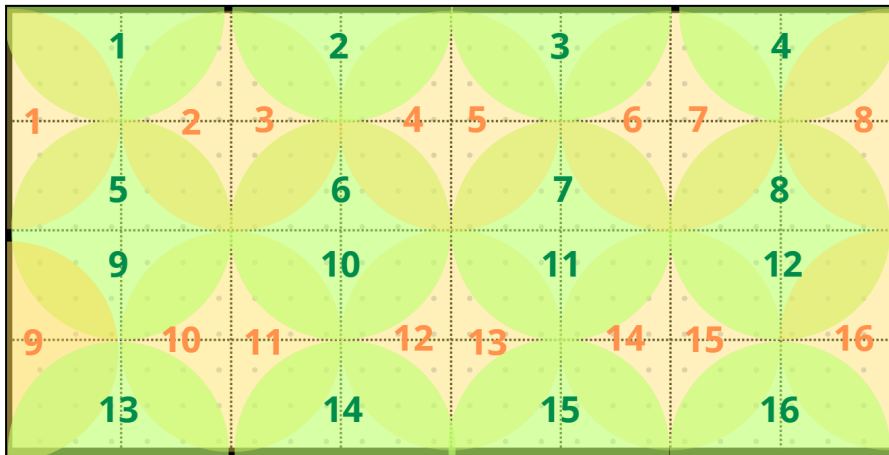
Modèles	Portées	Types	Fréquences	Coûts	Avantages	Inconvénients
Wildtronic Pro Mono	100-500 m	Parabolique (180°)	20-20kHz	1343€	Excellente sensibilité	
Telinga PRO 8 parabolic Kit	100-500 m	Parabolique (180°)	40-20kHz	1000€	Conçu pour l'écoute de la faune (en particulier les oiseaux)	Moins performant sur les basses fréquences
Rode NTG5	50 m	Directionnel , shotgun	80-20kHz	500€	Efficace contre le bruit ambiant	Moins performant sur les basses fréquences
Sennheiser MKH 20	20 m	Omnidirectionnel (360°)	12-20kHz	1500€	Bonne réponse basse fréquence	Risque de capter du bruit ambiant
Sennheiser ME K6	100 m	Directionnel	40-20kHz	240€	Utilisé par d'autres études butors	

La recherche de microphones adaptés à nos besoins s'est avérée complexe. Une association audiovisuelle et événementielle de Brest a été contactée afin d'obtenir des recommandations. Les modèles DPA 2017, DPA 4017, Shure VP82 et Rode NTG ont été suggérés pour une utilisation à longue portée avec un angle de captation de 180 degrés. Les spécifications précises de ces microphones, notamment en termes de portée et d'angle de captation, ne sont pas accessibles en ligne. Par conséquent, une hypothèse a été formulée selon laquelle ces microphones correspondent aux critères recherchés : une portée de 500 mètres et un angle de 180 degrés. Le modèle pour le placement et le nombre de microphones proposés ci-dessous repose ainsi sur ces suppositions.

b. Etude du positionnement des microphones

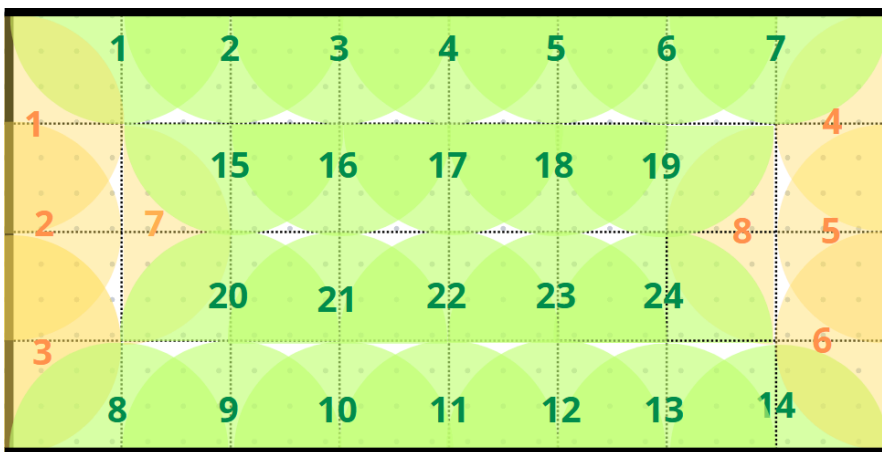
Lors de la réflexion sur le positionnement des microphones, nous avons choisi de quadriller l'intégralité de la zone d'étude.

- Proposition de positionnement n°1 :



En utilisant un modèle de microphone parabolique 180° avec une portée de 500m, voici le nombre de micro à positionner : 16 microphones en position horizontale et 16 microphones en position verticale. Soit un total de **32 microphones**.

- Proposition de positionnement 2 :



En utilisant un modèle de microphone parabolique 180° avec une portée de 500m, voici le nombre de micro à positionner : 24 microphones en position horizontale et 8 microphones en position verticale. Soit un total de **32 microphones** également.

D'après ces différentes propositions, celle qui retient notre attention est la première car elle permet de couvrir un plus large périmètre. Avec ce recouvrement, tous les cm² sont couverts par les microphones rendant les enregistrements très fiables.

c. Transmission d'information

D'après les contraintes du projet, la zone d'étude est un rectangle de 4 km par 2 km. La transmission par un signal sonore n'est pas envisageable sur cette distance. L'utilisation d'un flash lumineux est éventuellement possible mais elle suppose que le capteur soit extrêmement fiable et que l'émetteur lumineux ne rencontre pas d'interférence. Cette technologie n'est pas adaptée à un projet en extérieur. Il paraît alors évident que la communication radio est requise pour l'envoi des données en temps réel.

Un message contient un enregistrement de 10 secondes au format WAV, FLAC ou MP3, une position GPS ou un identifiant unique, la date et l'heure de l'enregistrement. En prenant en compte ces paramètres, on estime la taille d'un message en fonction de son format d'enregistrement entre 32 224 bits et 14 131 424 bits.

Format d'enregistrement	Formule	Calcul taille audio	Infos supplémentaires	Totale taille audio
WAV	Taille audio = Durée×Taux d'échantillonnage×Profondeur de bit×Nombre de canaux	$10 \times 44,100 \times 2 \times 2 = 1766400$ octets = 14131200 bits	Position GPS: 32 bits Identifiant unique: 128 bits Date et heure: 64 bits Total: 224 bits	14 131 424 bits
MP3	Taille audio = Débit×Durée	32 kbps × 10 secondes = 320000 bits	Position GPS: 32 bits Identifiant unique: 128 bits Date et heure: 64 bits Total: 224 bits	32 224 bits
FLAC	Taille audio = Taille WAV × Taux de compression	14,131,200 bits × 0.5 = 7065600 bits	Position GPS: 32 bits Identifiant unique: 128 bits Date et heure: 64 bits Total: 224 bits Totale: 224 bits	7 065 824 bits

Tableau référençant le nombre de bit d'un message en fonction du format audio

Nom	Portée	Débit
Wifi	20 à 50 m	500 Mb/s
4G - 5G	10 à 20 km	75 à 150 Mbit/s
Bluetooth	10 à 15 m	1 Mb/s
LoRa - SigFOX	15km	250 bits/s à 11 kbit/s

Tableau comparatif des réseau non filaire

D'après les tableaux, le format d'enregistrement idéal pour s'adapter au réseau LoRa est le format MP3. Celui-ci permet d'envoyer un enregistrement de 30 secondes. Cependant, l'envoi devra être en plusieurs temps puisque le débit maximum du réseau LoRa est de 11 kbits/s et que l'estimation de la taille d'un message est d'environ 33 kbits.

Étant donné un nombre de micro plus ou moins élevé, une solution serait d'envoyer en Wifi les données de chaque microphone à un module LoRa qui ensuite envoie l'ensemble des données vers l'ordinateur utilisateur. Tous les microphones sont équipés d'un module Wi-Fi qui transmet les données à un module LoRa qui transmet les données à l'utilisateur. Cela nécessite donc l'installation d'un réseau Wi-Fi dans la zone d'observation.

2. Traitement des données

a. Reconnaissance du butor étoilé

Les données récupérées au format .wav doivent être traitées et analysées pour reconnaître ou non le butor étoilé. Pour cela, on utilise un script Python et sa bibliothèque Matlab. Deux fonctions ont été écrites. Une première permet de filtrer le son entre 90 et 220 Hz, soit l'échelle de fréquence à laquelle émet le butor étoilé. Une seconde permet de reconnaître le champ significatif du butor : deux impulsions successives.

b. Détection de la position

Il existe 3 méthodes pour triangulariser un signal sonore et déterminer les coordonnées de son point d'origine. Ces trois méthodes sont Time of Arrival (ToA), Angle of Arrival (AoA) et enfin Time Difference of Arrival (TDoA). Les deux premières utilisent respectivement le temps absolu d'arrivée d'un signal à chaque capteur et l'angle sous lequel il est reçu par plusieurs capteurs directionnels. Nous allons donc nous concentrer sur le TDoA, qui repose sur le décalage temporel entre l'arrivée d'un signal sonore à plusieurs capteurs placés à des endroits différents. En effet, la TDOA semble la plus adaptée car elle ne nécessite pas de synchronisation parfaite entre la source et les micros. De plus, elle est efficace pour estimer la position du Butor en se basant uniquement sur l'enregistrement des cris par plusieurs micros positionnés à des endroits stratégiques.

La méthode TDOA utilise plusieurs récepteurs (au moins 3 en 2D, 4 en 3D) placés à des endroits différents. Dans notre cas, nous n'avons pas besoin de la 3D, donc nos micros sont placés de sorte à couvrir une zone via 3 micros systématiquement.

Quand un son est émis, il arrive à chaque récepteur à un moment légèrement différent. Cette différence de temps d'arrivée est mesurée et permet de définir une hyperbole entre deux récepteurs. La source sonore se trouve quelque part sur cette courbe. En croisant les différentes hyperboles afin de déterminer le point d'intersection, on peut trouver le point d'origine de la source.

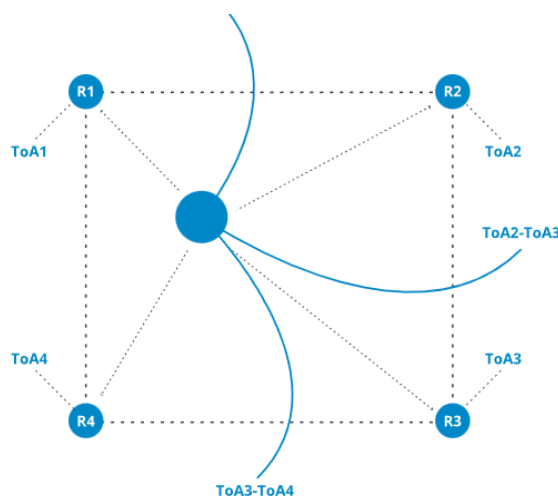


Figure : Principe de fonctionnement de la méthode TDOA.

Dans ce schéma, les Récepteurs sont les ronds bleus appelés RX, les ToAX sont les temps d'arrivée et les hyperboles entre deux récepteurs sont tracées.

Si on dispose de trois microphones M1(x1,y1), M2(x2,y2) et M3(x3,y3), et que l'on mesure les différences de temps d'arrivée entre les paires de micros, on peut écrire:

$$\sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2} - \sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2} = c \cdot \Delta t_{12}$$

$$\sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2} - \sqrt{(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2} = c \cdot \Delta t_{13}$$

Avec Δt_{12} et Δt_{13} sont les différences de temps d'arrivée mesurées entre les microphones, et c la célérité du son dans l'espace. Ce système peut être résolu numériquement

c. Base de données

Pour visualiser les butors étoilés sur une carte, il est nécessaire de stocker les données des enregistrements dans une base de données. La solution choisie est une base de données SQL simple. Deux tables doivent être créées : une première pour stocker les données brutes reçues des microphones et une seconde qui contient les données après traitement et analyse.

La table contenant les données brutes présente les champs suivants : date, heure, position_gps, lien_enregistrement. Voici les détails de ces champs :

- date_heure : Date à laquelle le microphone enregistre le Butor - Champ sous la forme DateTime (YYYY-MM-DD-HH-MI-SS).
- position_gps : La position GPS associée au micro qui a enregistré un son - Champ sous la forme d'un tuple (coordonnée x, coordonnée y).
- lien_enregistrement : Lien qui renvoie l'enregistrement en format wav ou mp3.

Cette table contiendra les champs suivants : date, heure, id_individu, nombre_ecoute, position_gps.

- date_heure : date à laquelle le micro enregistre le Butor - Champ sous la forme YYYY-MM-DD-HH:MI:SS.
- id_individu : On attribue au Butor un identifiant unique. On considère qu'un individu enregistré est le même s'il est entendu plusieurs fois dans un périmètre géométrique réduit et pendant une période de temps courte (10 minutes par exemple).
- nombre_ecoute : Si un individu est entendu plusieurs fois, alors son nombre d'écoutes s'incrémente - Champ sous la forme d'un entier.
- position_gps : Une position GPS est associée à un individu - Champ sous la forme d'un tuple (coordonnée x, coordonnée y).

d. Visualisation des données

Pour la visualisation des données, une interface utilisateur doit être pensée. Elle permet d'observer les butors étoilés entendus sur une carte et d'accéder à l'historique des données. Cette interface pourra être codée en langage WEB avec le framework Symfony, par exemple pour dynamiser le visuel. Cette interface sera connectée à la base de données qui contient les résultats du traitement et de l'analyse des enregistrements.

Conclusion

Le projet de détection du Butor étoilé se décompose en différentes phases : enregistrement d'un son, transmission des données, traitement et analyse des données, stockage des informations et visualisation.

L'enregistrement d'un son est possible à l'aide de micro. Le choix des technologies est important puisqu'il permet de couvrir la zone étudiée en optimisant le nombre de microphones et ainsi le coût final. Cependant, certaines questions restent encore en suspens. Faut-il privilégier un enregistrement séquentiel de la zone d'étude, au risque de passer à côté de certains chants ou de démarrer une prise en cours de vocalisation ? Ou bien opter pour une écoute en continu, qui implique une importante capacité de stockage et l'enregistrement de nombreux bruits parasites, complexifiant ainsi le traitement des données ?

La transmission des données doit répondre à des contraintes de portée et de taille. En effet, la zone étudiée étant dans une réserve naturelle, les données doivent être transmises sur un réseau non-filaire longue portée. Le réseau LoRa a été choisi en conséquence. Une attention particulière est portée sur la taille du message transmis (les données doivent-elles être traitées avant l'envoi pour n'envoyer que les informations nécessaires ?) et sur la centralisation des informations avant l'envoi (chaque microphones est équipé d'un module LoRa, ou bien les informations sont d'abord envoyées à un module LoRa par Wifi puis à l'utilisateur via ce réseau longue portée).

Avec les données brutes, il doit être possible de reconnaître le chant d'un butor étoilé en traitant le signal et de connaître sa position à l'aide de la méthode de triangulation TDoA. Python peut être utilisé pour automatiser cette phase.

Une fois les données traitées et analysées, elles doivent être stockées dans des bases de données adaptées pour ensuite être utilisées pour l'interface utilisateur.

Bibliographie

- Article de recherche "Evaluation des performances de la localisation à base de TDOA pour applications indoor à 60 GHz", juin 2015,
https://www.researchgate.net/publication/281947131_Evaluation_des_performances_de_la_localisation_a_base_de_TDOA_pour_applications_indoor_a_60_GHz
- Article "Precise, Reliable and Scalable Positioning Calculations", Site internet Inpixon, <https://www.inpixon.com/technology/standards/time-difference-of-arrival>
- Document du Ministère de la Transition Ecologique "Le butor étoilé - Plan national de restauration",
https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/PNA_Butor-etoile_2008-2012.pdf
- Document de la Direction Générale de l'Environnement "Le butor étoilé", 2019,
https://irpn.drealnpdc.fr/wp-content/uploads/2021/02/Butor_etoile.pdf
- Article "Microphone parabolique : Qu'est-ce que c'est et comment ça marche ?", août 2024, <https://emastered.com/fr/blog/what-is-parabolic-microphone>
- Site Telinga, article Telinga modular, <https://telinga.com/products/telinga-modular>
- Article "choisir et installer son matériel", site du LPO, février 2024,
<https://www.lpo.fr/la-lpo-en-actions/connaissance-des-especes-sauvages/suivis-ornithologiques/oiseaux-migrateurs/vol-de-nuit/tutoriels-et-formations/choisir-et-installer-son-materiel#:~:text=L'objectif%20est%20de%20limiter,impact%20du%20bruit%20de%20route>.
- Site Shure, achat de microphones:
<https://www.shure.com/fr-FR/produits/microphones>
- Site internet SKLON, achat de microphones:
<https://www.sklon.fr/201-enregistreur-audio-longue-autonomie-40-jours.html>
- Site internet Yonis Shop, achat de microphone
https://www.yonis-shop.com/313849-thickbox_default/microphone-unidirectionnel-35mm-plug-play-pour-mobile.jpg
- Site internet DPA microphones, achat de microphone
<https://www.dpamicrophones.com/fr/microphones/shotgun/2017?variant=53>
- Site ES France, Méthode de triangularisation
https://www.es-france.com/12157-microphone-special?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiAkoe9BhDYARIsAH85cDPLnaIPP8lc1mdJGGjbkXASUh4CDQ_VmAMz85HrD2UvwS9rllgJdBcaAi4NEALw_wcB
- Forum sur la triangularisation
<https://forum.arduino.cc/t/detecter-une-position-par-triangulation/594877/6>
- Site Dalember, méthode de triangularisation
http://www.dalember.upmc.fr/home/valier-brasier/images/Rapports/1920_Cohen_Giro.pdf